

아세탈과 나일론피니언의 마멸 및 운전특성에 관한 고찰

김충현^{*,**} · 이성철^{***} · 안효석^{*} · 정태형^{****}
(2000년 3월 9일 접수)

Wear and Operation Characteristics of Acetal and Nylon Pinion Against Steel Gear

Choong Hyun Kim, Sung-Chul Lee, Hyo-Sok Ahn and Tae Hyong Chong

Key Words: Wear(마멸), Acetal Pinion(아세탈피니언), Nylon Pinion(나일론피니언), Machine Element(기계요소), Specific Wear Rate(비마멸량), Life of Pinion(피니언수명)

Abstract

Wear and operation characteristics of Nylon and Acetal pinion against steel gear were studied to gain a better understanding of their tribological and mechanical behavior. Tests were conducted with power circulating gear test rig under unlubricated conditions. Specific wear rates were measured as a function of applied load and total revolution. The worn tooth surfaces were examined with a profile projector and camera. Nylon pinion showed lower specific wear rates than Acetal pinion, but it revealed breakage at high load. Principal wear depths were developed at tooth tip and below the pitch line of pinion. Life estimation for the Nylon pinion was made by taking into account steel gear equivalent Hertz stress and average sliding velocity. The dominant wear mechanisms were adhesion and abrasion.

1. 서론

나일론과 아세탈은 구형결정구조(spherulitic structure)를 갖는 결정성 고분자로서, 마찰계수가 낮고 강인한 특성을 보유하고 있으므로 기어, 배관용 부품, 자동차 부품, 그리고 완구류 등의 재료로 사용된다.^(1,2)

이들 공업용 플라스틱의 광범위한 용도에 부응하여 해당재료의 마찰마멸특성에 대한 연구는 지속적으로 다양한 분야에 걸쳐서 이루어지고 있으며,^(3-7,9-14) 이성철 등⁽⁸⁾은 사출성형 플라스틱기어의 설계, 제작기술을 개발하고 연구결과를 생산 현장에서 성공적으로 활용한 바 있다.

본 연구에서는 저소음으로 무원활 구동이 가능한 플라스틱기어의 체계적인 설계자료를 구축하

기 위한 연구의 일환으로서 동력전달용 플라스틱 기어의 마멸 및 운전특성을 파악하기 위한 실험 연구를 수행하였다.

2. 실험연구

2.1 실험장치

본 연구에서는 Fig. 1에 보인 것과 같은 기어내구성 실험장치를 설계, 제작하여 실험을 수행하였다. 이 실험장치는 두 축 사이의 중심거리가 75mm로 고정된 동력순환식 기어실험장치로서 피니언 축에는 토크와 회전수를 측정하는 토크계측기(torque detector)가 설치되어 있다.

2.2 시험기어의 제작

피니언의 재료로는 나일론과 아세탈, 기어는 SM45C를 각각 사용하여 제작하였으며, 각 시편의 제원은 Table 1에 나타내었다.

시편 제작과정에서 발생한 불순물을 제거하기 위하여 피니언은 에틸알콜, 강기어(steel gear)는 아세톤에 각각 담가 초음파세척기를 이용하여 세

* 회원, 한국과학기술연구원 트라이볼로지연구소
E-mail : chkim@kist.re.kr

TEL : (02)958-5668 FAX : (02)958-5659

** 회원, 한양대학교 대학원 기계설계학과

*** 회원, 인하공업전문대학

**** 회원, 한양대학교 기계공학부

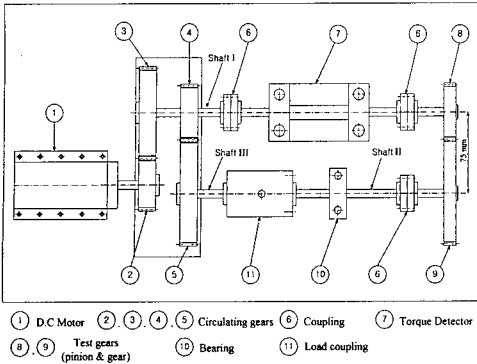


Fig. 1 Schematic view of the gear test rig

Table 1 Specification of the test gears

	Pinion	Gear
Material	Nylon / Acetal	SM45C
Elastic modulus [kgf/mm ²]	290 / 262	21000
Module	2	
Number of teeth	30	45
Pressure angle [deg.]	20	
Profile shift coefficient	0	
Dia. of pitch circle [mm]	60	90
Dia. of tip circle [mm]	64	94
Tooth width [mm]	5	10
Clearance coefficient	0.25	
Machining	Hobbing	
Grade	KS 6	KS 6

척하고 건조기에서 40℃로 48시간 동안 건조시킨 후 곧바로 실험에 사용하였다.

2.3 마찰마멸실험

실험조건은 Table 2에 나타내었으며, 피니언의 재질, 총회전수와 하중을 변화시키면서 총 24세트의 실험을 실시하였다.

온도의 영향을 크게 받는 고분자재료의 특성을 고려하여 각각의 실험세트는 매번 새로운 시편을 사용하였으며 각 세트마다 평균 2.5회에 걸쳐서 동일한 실험을 반복하였다.

2.4 마멸특성 평가

실험 직전과 직후에 피니언의 중량을 측정하여 마멸량을 계측하였고, 투영기(profile projector)와 사진기를 이용하여 총회전수에 따른 치형 및 치

Table 2 Test conditions

Applied load [kgf/mm]	1, 2, 3
Rotation speed [rpm]	955
Pitch line velocity [m/s]	3 (for pinion)
Revolution [x 10 ⁶]	1, 3, 5, 10
Environment	Air
Temperature	Room temperature
Humidity	35 ~ 55%

면의 변화를 관찰하였으며, 비마멸량(specific wear rate)을 바탕으로 하여 나일론의 마멸특성을 고찰하고 그 마멸기구를 파악하고자 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

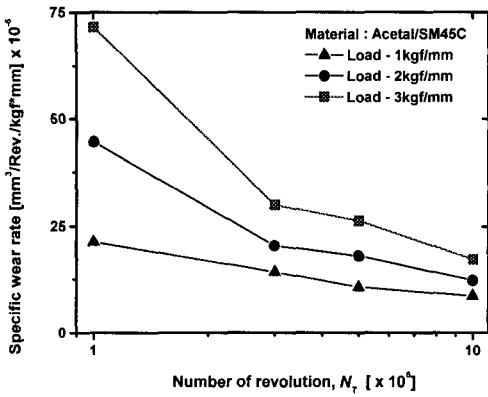
3.1 마멸량의 변화

피니언 재질의 운전조건에 따른 마멸특성의 변화를 파악하기 위해서는 피니언의 총회전수와 단위 치폭당 하중값을 반영한 비마멸량에 관한 고찰이 이루어져야만 한다. 따라서, 플라스틱피니언의 재질과 하중에 따른 비마멸량의 변화를 Fig. 2와 Fig. 3에 각각 도시하였다. 여기에서 비마멸량은 부피단위의 체적마멸량값을 총회전수와 단위 치폭당 하중으로 나누어 준 것으로서 단위는 [mm³/Rev./kgf * mm]이다.

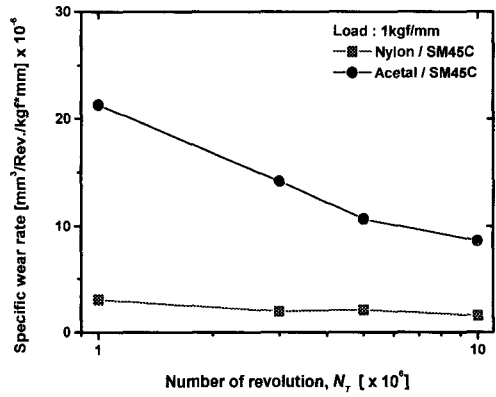
3.1.1 재질에 따른 비마멸량

Fig. 2(a)의 아세탈피니언의 경우 초기 길들이기(break-in) 과정에서 다량의 마멸이 발생한 후 비마멸량이 급격하게 감소한 다음 일정한 감소세를 유지하였으며, 실험 전 구간에 걸쳐서 지속적으로 마멸이 이루어진다는 것을 알 수 있었다.

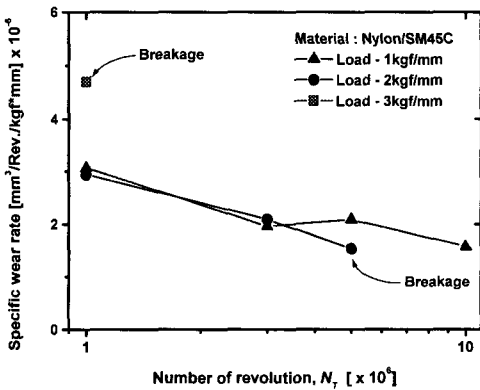
Fig. 2(b)의 나일론피니언의 경우 비마멸량이 아세탈의 비마멸량의 1/5~1/20 수준으로서 상당히 적었다. 하중이 2kgf/mm인 경우에는 하중이 1kgf/mm인 경우에 비하여 비마멸량이 오히려 감소하는 역전현상을 보였으며 하중이 3kgf/mm인 경우에는 비마멸량이 크게 증가하는 것을 볼 수 있었다. 이러한 역전현상은 하중증가율보다 비마멸량 증가율이 작아져서 발생한 현상으로서 해당 구간에서의 하중증가가 마멸량증가에 미치는 영향이 아세탈피니언의 경우보다 훨씬 작다는 분석결과와 일치한다.



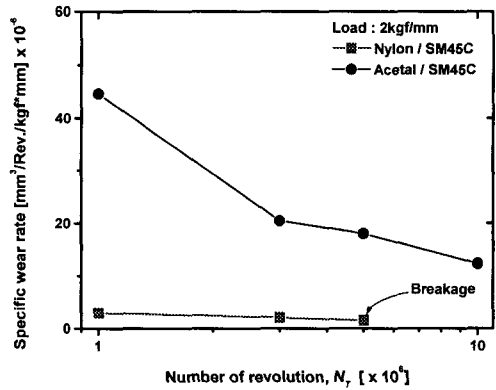
(a)



(a)



(b)

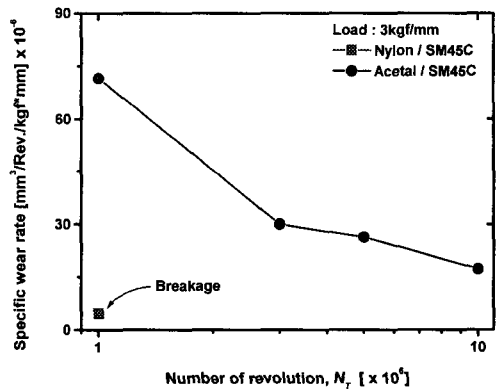


(b)

Fig. 2 Variation of specific wear rate for various materials with revolution

또한, 초기 구간 이후 감소하던 비마멸량이 실험 중간부에서 감소폭이 줄어들거나 다시 상승하는 것을 볼 수 있다. 이것은 나일론재질이 작용하중의 영향을 받아 고온에 노출됨으로써 마멸이 증가하는 구간일 것으로 사료된다. 즉, 마찰열에 의하여 용융된 후 냉각과정을 거친 나일론 재질이 기계적 특성을 상실함으로써 모재로부터의 이탈현상이 가속화되는⁽¹⁴⁾ 영역일 것으로 판단된다.

한편, 작용하중이 2kgf/mm와 3kgf/mm 사이의 값을 가질 때 하중증가에 따른 나일론피니언의 비마멸량 증가율에 급격한 변화를 보이는 천이영역이 존재할 것으로 추측된다.



(c)

Fig. 3 Variation of specific wear rate for various loads with revolution

3.1.2 하중에 따른 비마멸량

Fig. 3 (a), (b)와 (c)에서 보는 것처럼 아세탈피니언의 초기 비마멸량은 하중의 크기에 비례하여 증가하였으나 실험이 진행될 수록 증가폭은 감소하였다. 이러한 비마멸량의 급상승현상은 상대방 강기어와의 마찰에 의한 효과 뿐만 아니라 김충현 등⁽⁴⁾이 고찰한 바와 같이 피니언 모재로부터 이탈한 단단한 아세탈마멸입자가 피니언과 기어의 마찰면 사이에 끼어들면서 피니언표면을 긁어내는 "3-body abrasion"현상이 진행되어 마멸을 가속화하는 역할을 수행한 것으로 추측된다.

나일론피니언의 경우에는 하중의 크기에 따른 비마멸량의 변화폭이 상대적으로 작았으며 Fig. 3 (b)와 (c)에 보인 것처럼 하중이 2kgf/mm인 경우에는 5×10^6 회전에서, 하중이 3kgf/mm인 경우에는 초기 단계인 8×10^5 회전에서 절손이 이루어져서 더 이상 마멸경향을 관찰할 수 없었다.

비마멸량의 변화자료로부터 판단할 때 피니언의 이(tooth)가 절손되지 않는 범위에서 총회전수와 작용하중이 동일한 경우에는 나일론피니언의 마멸특성이 아세탈피니언보다 매우 우수한 것으로 판단된다.

3.2 피니언 치형의 변화

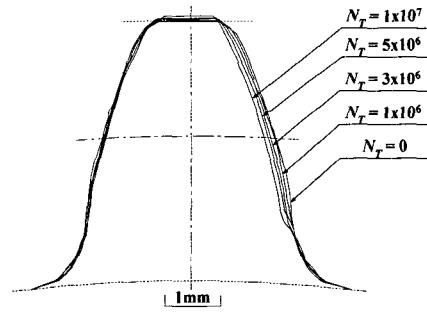
3.2.1 치형단면의 변화

실험 전후에 피니언 치형을 투영기로 50배 확대하여 관찰, 비교함으로써 강기어와 맞물리는 플라스틱피니언의 치형변화를 살펴보았다.

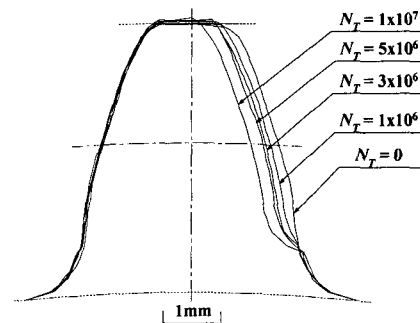
확대 투영한 피니언 치형의 이뿌리부분부터 이 끝까지의 총이높이를 40개 구간의 등간격으로 분할한 직선, 피치원, 그리고 이끝원 등과 만나는 좌우 치면상의 점 86개와 치중심선이 이끝원과 만나는 점 1개 등 총 87개 점의 (x, y) 좌표값을 수작업으로 측정하여 치형을 작성, 비교하였다.

Fig. 4와 Fig. 5는 각각 아세탈피니언과 나일론 피니언의 치형이 실험이 진행됨에 따라 변화하는 과정을 보여준 것으로서 우측치면이 강기어와 물리면서 하중의 작용을 받은 접촉치면이다.

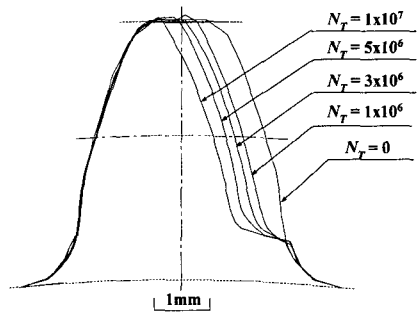
Fig. 4의 아세탈피니언 치형의 변화과정에서 가장 큰 특징은 마멸이 전체 치면에 걸쳐서 골고루 진행된다는 점이다.



(a) 1kgf/mm



(b) 2kgf/mm



(c) 3kgf/mm

Fig. 4 Projected drawings of tested acetal pinion specimens

치면에 작용하는 하중이 1kgf/mm인 경우에는 Fig. 4(a)과 같이 총회전수가 증가함에 따라 치형이 조금씩 마멸되어 들어가는 것을 볼 수 있으며, 작용하중이 2kgf/mm인 경우에는 Fig. 4(b)와

같이 총회전수가 증가함에 따라 치형이 크게 변화되었다. Fig. 4(c)에서처럼 작용하중값이 3kgf/mm인 경우에는 총회전수가 1×10^6 회전에 도달하였을 때 이미 치형변화량이 해당기어의 제원을 기준으로 한 허용 치형오차값을 초과할 정도에 도달하였고, 이 경우에는 마멸과 더불어 운전소음도 크게 증가하였다. 이러한 사실은 Fig. 2(a)에 보인 것처럼 하중의 증가와 비례하여 마멸량도 급격하게 증가한다는 분석결과와 잘 일치한다.

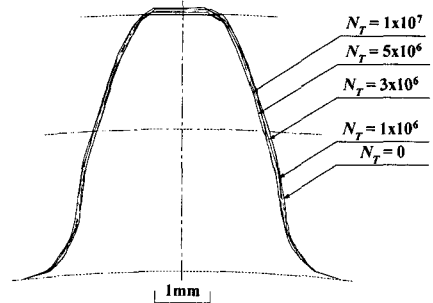
Fig. 5에서 보는 바와 같이 나일론피니언의 경우에는 전체적으로 아세탈피니언과 비교해 볼 때 치형변화량이 극히 미미하였다. Fig. 5(a)와 (b)는 치면에 작용하는 하중이 각각 1kgf/mm, 2kgf/mm인 경우의 나일론피니언의 치형변화를 나타낸 것으로서 총회전수가 증가하여도 치형은 거의 변화하지 않았다.

그러나, Fig. 5(b)의 작용하중값이 2kgf/mm인 경우에는 5×10^6 회전, 하중값이 3kgf/mm인 Fig. 5(c)에서는 총회전수가 8×10^5 회전에 도달하였을 때 피니언치형이 절손되어 치형변화의 비교, 분석이 제대로 이루어질 수 없었다.

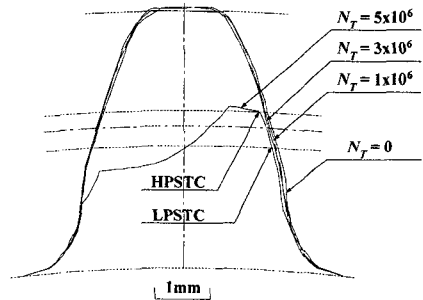
피니언 이의 파손에 가장 큰 영향을 주는 것은 전달하중의 크기이다. 즉, 피니언과 기어의 전체 물림과정에서도 한 쌍만의 치형이 물림을 가지는 구간에서는 이에 걸리는 하중이 극대화되는 관계로 인하여 파손이 발생하기 쉽다. 따라서, 피니언의 절손이 발생한 Fig. 5(b)와 (c)에서는 치형의 절손위치를 파악하기 위하여 한 쌍의 치형만이 물림을 갖는 단일치접촉(single tooth contact) 구간의 위치를 표시하였다.

이러한 위치의 경계점으로서 최고 단일치접촉점(Highest Point of Single Tooth Contact, HPSTC)과 최저 단일치접촉점(Lowest Point of Single Tooth Contact, LPSTC)을 통과하는 원을 표시하였으며, 본 연구에서 사용된 피니언과 기어의 제원을 이용하여 계산한 결과, HPSTC와 LPSTC를 통과하는 원의 반경값은 각각 30.2759mm와 29.6657mm이었다.

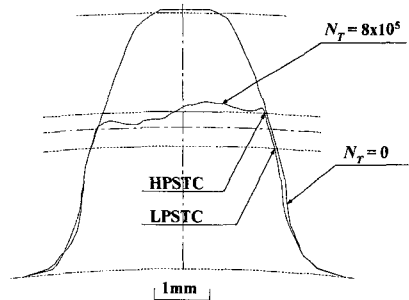
Fig. 5(b)와 (c)를 보면 피니언의 절손은 하중이 작용하는 치면의 HPSTC에서 발생하여 반대 치면의 피치원(pitch circle) 부근이나 이뿌리쪽을 향하여 진행된다는 것을 알 수 있었다.



(a) 1kgf/mm



(b) 2kgf/mm



(c) 3kgf/mm

Fig. 5 Projected drawings of tested Nylon pinion specimens

이상과 같은 치형변화를 종합해 볼 때 나일론 피니언은 강인한 재질 특성상 일정 회전수까지 굽힘응력을 견디면서 하중을 전달하다가 치면의

온도가 상승하면서 재료고유의 기계적 특성을 점차 상실하고 그 한도를 넘어서면 치면에 균열이 발생, 성장하여 결국 절손되는 것으로 사료된다.

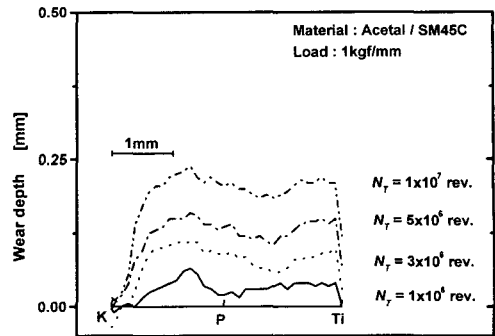
3.2.2 치면 마멸깊이의 변화

전술한 피니언 치형단면의 변화를 살펴보면 아세탈피니언은 치면전체에 걸쳐서 비교적 고르게 다량의 마멸이 이루어진 반면, 나일론피니언의 경우에는 마멸량이 매우 작을 뿐만 아니라 일정 회전수 이후에는 절손이 발생하는 것을 볼 수 있었다. 이러한 마멸특성을 보다 자세하게 비교하고 마멸발생 위치를 파악하기 위하여 치면상의 위치에 따른 마멸깊이의 변화를 고찰하였으며 그 결과를 Fig. 6부터 Fig. 8에 나타내었다. 여기에서는 실제 물림이 시작되는 물림시작점(starting point of action, K), 피치점(pitch point, P), 그리고 이끝점(tip of tooth, Ti)을 기준점으로 선정하였다.

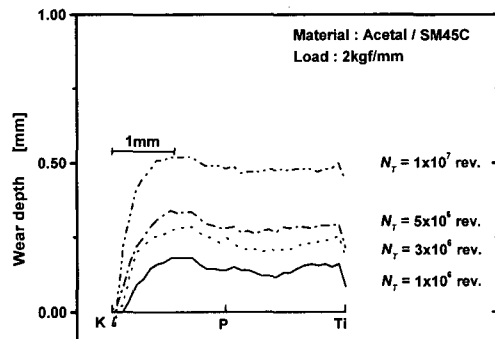
Fig. 6은 작용하중에 따른 아세탈피니언의 마멸깊이 변화를 나타낸 것으로서 작용하중의 크기와 상관없이 피치점 아래의 이뿌리쪽에 가까운 부분과 이끝 부분에서 마멸이 더 크게 나타났으며, 최대마멸깊이는 피치점선상보다 이뿌리쪽에 가까운 곳에서 발생하였다. 이론적으로 상대속도가 발생하지 않는 피치점보다 미끄럼속도값이 큰 부분에서 마멸이 더 크게 나타난 것으로 보아 아세탈은 비교적 내마모성이 강하며 취성이 강한 재질특성상⁽¹⁴⁾ 구름접촉(rolling contact)에는 상대적으로 강한 반면 마찰시 상대속도를 갖는 미끄럼 접촉에는 저항하지 못하고 마멸되기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 6(b), (c)를 보면 하중증가에 비례하여 아세탈피니언의 마멸깊이가 크게 증가하였으며 고하중인 경우에는 치면 전체에 걸쳐서 마멸이 고르게 이루어졌다. 이것은 고하중의 작용으로 인하여 변형된 아세탈피니언이 강기어와 밀착되면서 물림시작점부터 이끝까지의 치면 전체에 걸쳐서 접촉이 이루어지면서 비교적 고르게 마멸된 것으로 보인다.

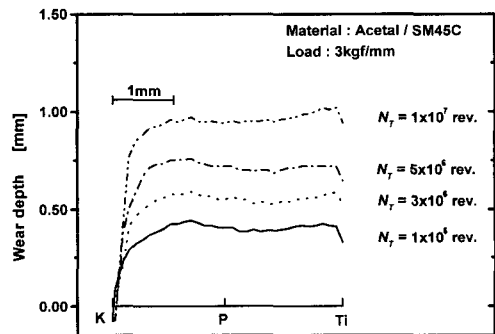
Fig. 7은 아세탈피니언의 마멸깊이를 회전수에 따라 도시한 것으로서 동일한 회전수에서는 하중이 클수록 마멸깊이가 깊었으며, 특히 하중이



(a)



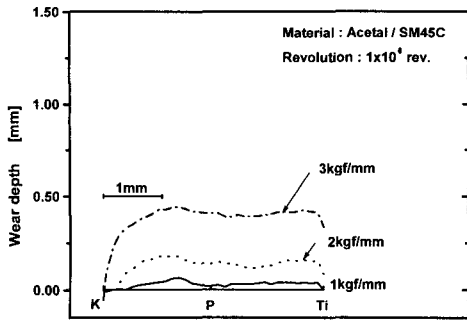
(b)



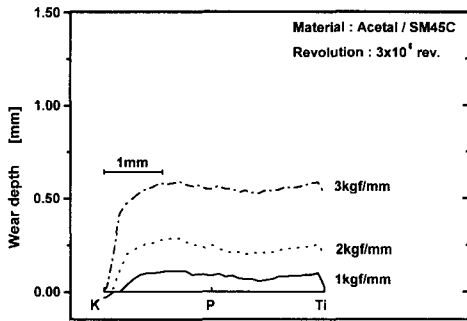
(c)

Fig. 6 Variation of Acetal pinion tooth profile with applied load

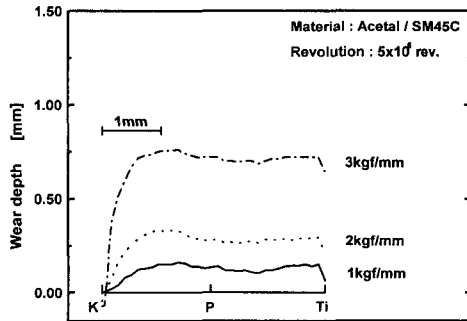
3kgf/mm인 경우에는 작용하중이 2kgf/mm인 경우보다 마멸깊이의 증가율이 더욱 커졌다.



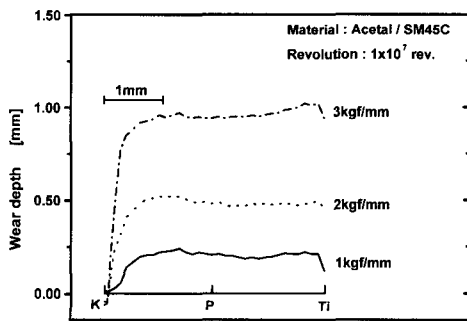
(a)



(b)

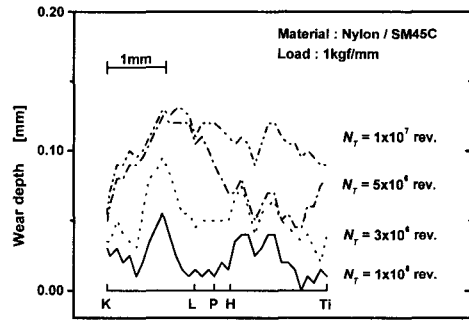


(c)

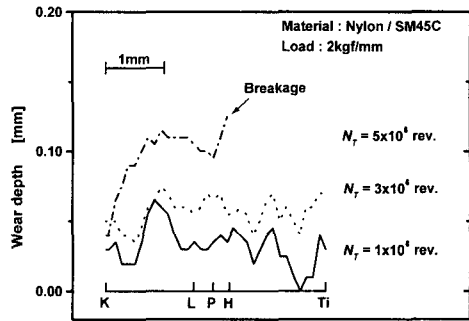


(d)

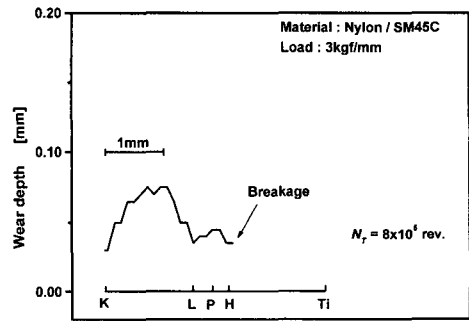
Fig. 7 Variation of Acetal pinion tooth profile with revolution



(a)



(b)



(c)

Fig. 8 Variation of Nylon pinion tooth profile with applied load

Fig. 8은 작용하중의 변화에 따른 나일론피니언의 마멸깊이를 나타내었으며, 나일론피니언의 경우에는 이의 절손위치를 파악하기 위하여 한 쌍이물림의 최고 단일치접촉점과 최저 단일치접촉점을 각각 H와 L로 표시하였다.

Fig. 8을 보면 나일론피니언의 마멸깊이는 아세탈피니언의 마멸깊이의 1/2~1/10에 이를 정도로 작았으며, 최대 마멸깊이 발생위치는 아세탈피니언과 유사하였다.

즉, 미끄럼접촉이 발생하는 부위에서 마찰열이 축적되면서 내열성이 떨어지는 나일론재질이 녹은 후 하중의 작용과 더불어 변형이 발생하는 것으로 판단되며, 특히 하중전달이 시작되는 이뿌리부분의 치면이 심하게 마멸된 것을 볼 수 있었다. Fig. 8(b)와 (c)를 보면 작용하중이 2kgf/mm와 3kgf/mm인 경우에는 최고 단일치접촉점 부근에서 절손이 발생한 것을 알 수 있었다.

3.3 피니언 치면의 변화

전술한 피니언치형의 형상변화를 통하여 아세탈피니언과 나일론피니언의 마멸특성의 차이점을 파악할 수 있었으며, 보다 정확한 분석을 위하여 실험을 거친 나일론피니언의 치면을 사진기로 촬영하여 관찰하였다.

Fig. 9는 실험이 끝난 나일론피니언의 치면을 접사렌즈를 사용하여 근접촬영한 사진이며 파손 전후의 치면변화가 잘 나타난 작용하중 2kgf/mm인 나일론피니언 치형을 대상으로 하였다.

Fig. 9(a)를 보면 피치선(pitch line) 부근의 치면에 이의 길이방향을 따라서 미세한 선(line)과 같은 흔적을 볼 수 있다. 이것은 하중을 전달하는 접촉치면의 온도가 상승하면서 용융된 나일론 재료가 상대방 강기어 치면과의 작용으로 인하여 작은 구멍(pit)을 남기면서 이탈된 흔적으로서 기어의 대표적인 마멸현상인 피팅(pitting)이 발생했다는 증거이다.

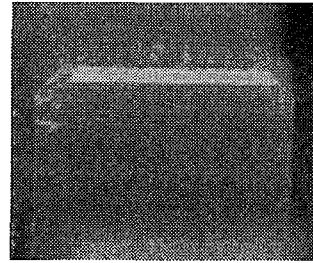
피팅이 발생한 이후로 치면의 온도가 더욱 상승하면 나일론 재료는 급격하게 재료고유의 기계적 특성을 잃어버리게 되고 나일론피니언 치면에는 Fig. 9(b)와 같이 균열이 생성된다. 이 상태에서 계속 물림이 진행된다면 Fig. 9(c)에서 보는 바와 같이 벌려진 틈새가 관찰될 정도로 균열이 진전되다가 결국 절손이 발생하는 것으로 판단된다. Fig. 9(c)의 나일론피니언 치형에 이웃한 이는 이미 절손된 상태이다.

Fig. 10은 3kgf/mm의 고하중의 작용을 받아 절손된 나일론피니언을 보여 준 것으로서 그 파단면을 Fig. 5(c)에 도시한 바 있다.

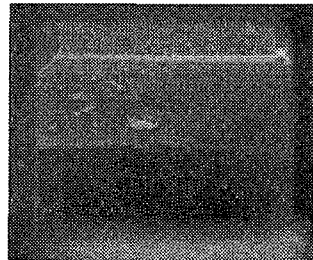
이상과 같이 나일론피니언에서 발생하는 피치점 부근의 피팅현상과 절손은 김충현 등⁽¹⁴⁾이 실험을 통하여 고찰한 바와 같이 내열성이 약한 나일론재질이 강기어와 물리면서 고하중을 전달하는 과정에서 생성되는 마찰열의 영향을 받아서

전술한 과정을 거치며 파손되는 기계적인 손상⁽¹³⁾의 한 형태일 것으로 판단된다.

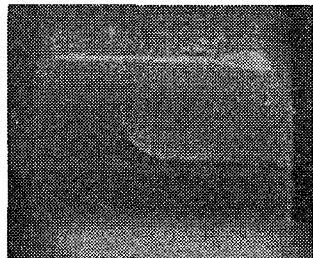
따라서, 나일론피니언을 구동부에 사용할 경우에는 전달 토크에 의하여 발생하는 치면하중의 크기가 파손을 일으키지 않도록 제원설계에 신중을 기해야 할 것으로 사료된다.



(a) $N_T = 1 \times 10^6$ rev.



(b) $N_T = 3 \times 10^6$ rev.



(c) $N_T = 5 \times 10^6$ rev.

Fig. 9 Worn tooth surface of Nylon pinion specimens : applied load = 2kgf/mm

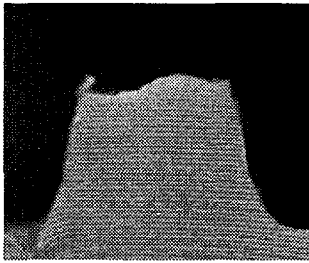


Fig. 10 Breakage of Nylon pinion tooth : applied load = 3kgf/mm, $N_T = 8 \times 10^5$ rev

3.4 나일론피니언의 운전수명

기존연구⁽¹³⁾에 의하면 플라스틱치차의 운전수명 판단기준은 이에 균열이 발생하거나 이끝의 이두께가 영이 되는 시점을 기준으로 한다. 본 연구에서는 실험에 사용한 세 가지 하중조건에서의 총회전수를 운전수명으로 정하고, 운전조건과 운전수명과의 관계를 알아보았다.

나일론피니언의 운전수명(N_T , number of revolution)을 예측하는 데 사용된 변수는 플라스틱피니언의 강기어 상당 헤르쯔응력(steel gear equivalent Hertz stress, MPa) P 와 평균미끄럼 속도(average sliding velocity, m/s) V 이며, 이들 변수의 곱 PV 와 운전수명과의 관계를 Fig. 11에 나타내었다. 해당자료로부터 얻은 운전수명에 대한 관계식은 다음과 같다.

$$N_T = 10^{-0.042PV + 8.79} \quad (1)$$

나일론피니언의 운전수명에 관한 식 (1)은 PV 값이 35~70 MPa * m/s 범위의 값을 가지는 영역에서 적용할 수 있다.

본 실험연구에서 확인된 나일론피니언의 파손 형태는 최고 단일치접촉점과 최저 단일치접촉점 사이에서 발생한 피팅, 균열 및 절손이었으며, 피치점 부근의 치면에 나타나는 피팅과 절손은 열적인 영향을 받는 기계적 손상인 것으로 밝혀져 있다.⁽¹³⁾

따라서, 나일론피니언의 파손은 하중의 작용과 운전시간의 경과에 따라 발생한 마찰열에 의하여 피치점 부근의 재질온도가 상승하면서 내열성이 떨어지는 나일론재질이 연화되어 기계적인 특성을 상실한 상태에서, 먼저 인장측 치면에 균열이

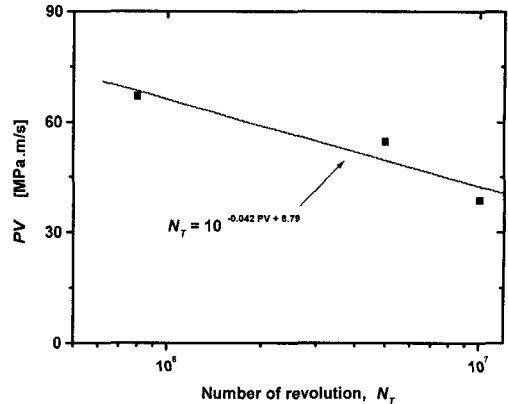


Fig. 11 Life estimation of Nylon pinion with steel gear equivalent Hertz stress and average sliding velocity

발생한 후 반대편 치면 쪽으로 성장, 진행되어 절손을 일으키는 것으로 판단되며, 이러한 실험 결과는 이전의 연구논문에서 알려진 바와 일치한다.^(9,10,13)

한편, 아세탈피니언의 경우에는 재료가 가진 취성으로 인하여 하중작용시 쉽게 부서지면서 하중을 분산시킴으로써 인장이나 압축에 의한 피로파손이 발생하지 않는 것으로 판단된다.

4. 결 론

나일론과 아세탈재질의 피니언과 SM45C재질의 강기어를 이용한 기어내구성 실험을 통하여 진술한 실험조건 내에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 아세탈피니언의 경우 나일론피니언보다 마멸량이 매우 많았으며, 두 가지 재질 모두 초기 마멸이 크게 발생하였다.
- (2) 아세탈피니언은 거의 모든 치면에서 균일하게 다량의 마멸이 발생하였으나 파손은 발생하지 않았다. 한편, 나일론피니언의 경우에는 마멸량이 아세탈피니언보다 현격하게 작아서 치형변화는 매우 적었으나, 하중이 2kgf/mm와 3kgf/mm 인 경우에 최고 단일치접촉점 부근에서 절손되었다.
- (3) 아세탈피니언과 나일론피니언 모두 전술한 실험조건 내에서 피치선 아래의 이뿌리쪽에 가까운 곳과 이끝부분에서 가장 많이 마멸되었으며 이것은 미끄럼마찰로 인한 마멸현상 때문인 것으로

로 판단된다.

(4) 사진촬영을 통한 마찰면의 관찰 결과 나일론은 마찰열에 의하여 열화되어 기계적 강도가 감소함으로써 마멸이 이루어진 후 파손이 발생하는 것으로 판단된다. 따라서, 나일론의 경우 아세탈에 비하여 내열성이 뒤떨어지는 것을 확인할 수 있었다.

(5) 절손이 발생한 나일론피니언의 경우 강기어 상당 헤르쯔응력과 평균미끄럼속도를 변수로 하여 회전수 단위의 운전수명예측이 이루어졌다.

(6) 기어재료로서의 활용 측면을 고려하여 이상과 같은 실험결과를 종합해 볼 때 파손이 발생하지 않는 하중 범위 내에서는 나일론이 아세탈보다 더 우수한 마멸특성을 보유하고 있음을 알 수 있었으며, 나일론피니언을 구동축으로 사용할 경우에는 단위치폭당 하중의 크기가 가장 중요한 설계변수가 될 것으로 판단된다.

참고문헌

- (1) 이기만, 정동천, 1992, "플라스틱 해설과 물성집," 한국플라스틱기술정보.
- (2) 한영수, 현동훈, 박원규, 정태형, 1999, "성형 플라스틱 기어 핸드북," 일진사.
- (3) Clerico, M., 1980, "Tribological Behaviour of Polyacetals," *Wear*, Vol. 64, p. 259.
- (4) Kang, T., Kim, Y., Cho, W., and Ha, C., 1997, "Effects of Amorphous Nylon on the Properties of Nylon," *Polymer Testing*, Vol. 16, pp. 391~401.
- (5) Bai, M., Xue, Q. and Guo, H., 1996, "Reciprocal Sliding Wear of SiC Particle-reinforced Al-Cu Aluminium Matrix Composites against Stainless Steel, High Speed Tool Steel and Ceramics II. Wear Mechanisms," *Wear*, Vol. 194, pp. 126~136.
- (6) Uchiyama, Yoshitaka, 1992, "Survey of Polymer Tribology," *Japanese Journal of Tribology*, Vol. 37, No. 6, pp. 657~665.
- (7) 강석춘, 정대원, 1998, "오일함침형 고분자량 나일론의 마찰특성에 관한 연구," 대한기계학회 논문집 A권, 제22권 제11호, pp. 2011~2020.
- (8) 이성철, 김충현, 권오관, 허용정, 1996, "설계인자 보정방법에 의한 사출성형기어의 캐비티 설계," 대한기계학회논문집 A권, 제20권 제10호, pp. 3142~3151.
- (9)塚本尚久, 昭和 54, "プラスチック歯車の強度に関する研究," 日本機械學會論文集 C編, 45卷, 391號, pp. 382~390.
- (10)塚本尚久, 昭和 55, "プラスチック歯車の強度に関する研究(第2報)," 日本機械學會論文集 C編, 46卷, 409號, pp. 1116~1126.
- (11)塚本尚久, 昭和 56, "プラスチック歯車の強度に関する研究(第3報)," 日本機械學會論文集 C編, 47卷, 416號, pp. 474~483.
- (12)塚本尚久, 矢野 透, 坂井廣志, 昭和 57, "ナイロン歯車の齒形變化にとまなう騒音及び傳達效率," 日本機械學會論文集 C編, 48卷, 425號, pp. 95~105.
- (13)塚本尚久, 昭和 54(1979), "プラスチック歯車の強度に関する研究(第6報)," 日本機械學會論文集 C編, 50卷, 459號, pp. 2165~2173.
- (14) 김충현, 안효석, 정태형, 2000, "나일론과 폴리아세탈의 마찰마멸에 관한 고찰," 대한기계학회논문집 A권, 제24권 제3호, pp. 786~793.