

운전속도에 따른 플라스틱기어의 마멸특성

김충현[†] · 안효석^{*} · 정태형^{**}

(2001년 1월 27일 접수, 2001년 8월 13일 심사완료)

Wear Characteristics of Plastic Pinion Against Steel Gear for Different Pitch Line Velocities

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

Key Words: Wear(마멸), Plastic Gear(플라스틱 기어), Pitch Line Velocity(피치선속도), Specific Wear Rate(비마멸량)

Abstract

Wear characteristics of Nylon and acetal pinions against steel gears for different pitch line velocities was studied with a power circulating gear test rig under unlubricated condition. Specific wear rate was measured as a function of tooth number, module, tooth width and total revolution. The worn tooth surfaces were examined with a profile projector. The Nylon pinion showed lower specific wear rate than the acetal pinion. However, the Nylon pinion was fractured at high tooth loads, whereas the acetal pinion exhibited a steady wear behavior. The wear characteristics of Nylon pinion varied significantly with the pitch line velocity. Wear occurred most severely at the tooth tip and the region immediately below the pitch line of pinion. The dominant wear mechanisms were adhesion and abrasion.

1. 서론

동력전달용 플라스틱기어는 온도, 습도 등 주위환경과 운전조건의 변화에 따라 재료의 기계적 특성이 현저히 달라지므로^(1,2) 제품 설계시 이에 대한 특별한 대비책이 요구된다. 이러한 특성을 감안하여 플라스틱기어 또는 그 재료의 마찰마멸 특성에 대한 연구⁽³⁻¹⁶⁾가 이루어져 왔으나 관련분야에 대한 국내연구는 매우 부족한 실정이다.

본 연구에서는 서로 다른 회전속도로 운전되는 동력전달용 플라스틱기어의 마멸특성 변화를 연구하기 위하여 플라스틱피니언의 피치선속도로서는 고속영역에 속하는⁽²⁾ 4m/s인 경우에 대한 내구성실험을 수행하고 그 실험결과를 김충현 등⁽¹³⁾의 연구와 비교하고 마찰마멸특성을 분석하였다.

[†] 책임저자, 회원, 한국과학기술연구원 트라이블로지 연구센터

E-mail : chkim@kist.re.kr

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

^{*} 회원, 한국과학기술연구원 트라이블로지연구센터

^{**} 회원, 한양대학교 기계공학부

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, 피니언재료의 물성치는 Table 2에 각각 나타내었다.

시편 제작과정에서 발생한 불순물을 제거하기 위하여 피니언은 에틸알코올, 강기어(steel gear)는 아세톤에 각각 담가 초음파세척기를 이용하여 세척하고 건조기에서 40℃로 48시간 동안 건조시킨 후 곧바로 실험에 사용하였다.

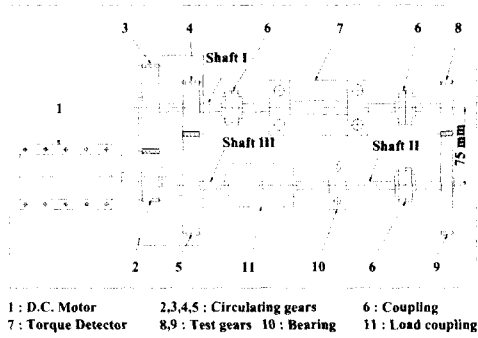


Fig. 1 Schematic view of the gear test rig

Table 1 Specification of the test gears

	Pinion	Gear
Material	Nylon / Acetal	SM45C
Elastic modulus [N/mm ²]	2900 / 2620	210000
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

Table 2 Properties of the plastic materials

Properties	Nylon	Polyacetal
Specific Weight	1.39	1.63
Tensile strength [MPa]	62	65
Hardness, Rockwell	R111~R118	M94, R118

Table 3 Test conditions

Applied load [N/mm]	9.8, 19.6, 29.4
Rotation speed [rpm]	1273
Pitch line velocity [m/s]	4 (for pinion)
Revolution [x 10 ⁶]	1, 3, 5, 10
Environment	Air
Temperature	Room temperature
Humidity	35 ~ 55%

2.3 마찰마멸실험

실험조건은 Table 3에 나타내었다.

2.4 마멸특성 평가

실험 전후에 피니언의 중량을 측정하여 마멸량을 계측하였고, 투영기(profile projector)를 이용하여 총회전수에 따른 치형변화를 관찰하였으며, 비마멸량(specific wear rate)을 바탕으로 하여 플라스틱 피니언의 마멸특성을 고찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 비마멸량의 변화

피니언 재질의 운전조건에 따른 마멸특성의 변화를 파악하기 위해서 플라스틱피니언의 마멸량으로부터 체적마멸량을 구한 후 이 값을 다시 피니언의 잇수, 치면의 투영면적, 그리고 총회전수로 나누어 비마멸량(W_s)을 계산하고 비교하였다.

$$W_s = \frac{W_v}{z \cdot 2 \cdot m \cdot b \cdot N_T}$$

여기서 W_v : 체적마멸량 [mm³]
z : 피니언 잇수
m : 모듈 [mm]
b : 치폭 [mm]
N_T : 총회전수 [rev.]

3.1.1 재질에 따른 비마멸량

Fig. 2(a)와 (b)를 보면 피치선속도가 3m/s에서 4m/s로 상승함에 따라 아세탈피니언의 비마멸량은 대폭 감소한 반면에 나일론피니언의 비마멸량은 증가하였다.

즉, 동일한 총회전수에서의 비마멸량을 비교하여 보면 아세탈피니언은 피치선속도가 4m/s인 경우에는 초기 비마멸량이 3m/s인 경우의 20% 정도로 대폭 감소한 후 점차 증가하여 50~80% 수준에 도달하였으나 나일론피니언에서는 조기에 파손이 발생한 하중 29.4N/mm인 경우를 제외한 나머지 하중에서 초기 비마멸량이 130% 정도로 증가한 후 실험이 진행됨에 따라 200% 이상으로 계속 증가하였다.

또한, 아세탈피니언 비마멸량에 대한 나일론피니언의 비마멸량의 비율은 피치선속도가 3m/s인 경우에는 하중이 9.8N/mm인 경우 15~20% 수준, 나머지 하중에서는 7~10% 수준을 보이는 반면 피치선속도가 4m/s일 때에는 각각 80~90%와 40%

수준으로 상승하여 상대적으로 나일론피니언의 마멸량이 증가함을 보여 준다. 이러한 실험결과로부터 피치선속도의 변화가 나일론과 아세탈피니언의 비마멸량 변화에 미치는 영향이 매우 크다는 것을 알 수 있다.

Fig. 2(a)의 아세탈피니언의 피치선속도가 3m/s인 경우에는 초기 길들이기(break-in) 과정에서 다량의 마멸이 발생한 후 비마멸량이 급격하게 감소한 다음 일정한 감소세를 유지하였으나, 4m/s인 경우에는 초기마멸량이 상대적으로 매우 작았으며 실험중반부 이후에는 대체로 일정한 수준을 유지하였다. 피치선속도 증가에 따른 아세탈피니언의 마멸량 감소현상은 연강(mild steel)과 미끄럼을 일으키는 아세탈수지의 경우 미끄럼속도가 1~8m/s인 범위 내에서는 미끄럼속도가 증가할수록 연강을 통한 냉각효과의 증대로 마멸체적량이 감소한다는 Mark 등⁽¹⁴⁾의 연구결과와도 일치한다.

한편, 나일론피니언의 경우에는 Fig. 2(b)에 보인 바와 같이 동일하중이 작용하는 경우 피치선속도가 3m/s에서 4m/s로 상승함에 따라 비마멸량이 증가하였을 뿐만 아니라 초기에 이(tooth)의 절손이 발생하였다. 이것은 피니언의 회전속도 증가로 인한 미끄럼압력(sliding pressure)의 상승 때문일 것으로⁽¹⁵⁾ 사료된다. 즉, 나일론피니언의 경우에는 미끄럼압력의 상승으로 인하여 발생, 축적되는 마찰열량이 증가함으로써 나일론재질이 쉽게 용융되어 빠른 시간 내에 기계적강도가 감소하면서 대량마멸이 이루어진 후 단시간 내에 치면에 균열이 생성되는 것으로 판단된다.

3.1.2 하중에 따른 비마멸량

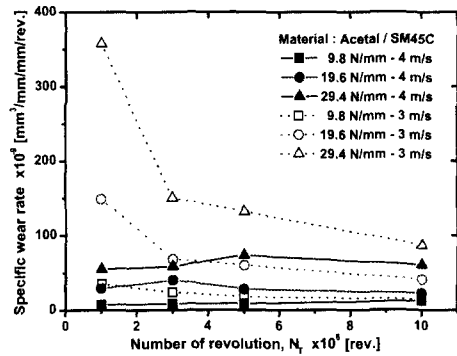
Fig. 2(a)의 아세탈피니언의 경우 피치선속도가 3m/s일 때 하중증가율의 제곱에 거의 정비례하여 초기 마멸량이 증가하였으나 피치선속도가 4m/s인 경우에는 하중증가에 따른 초기 마멸량의 증가율이 다소 둔화되었을 뿐만 아니라 전체 실험 구간에서 비교적 일정한 마멸이 이루어졌다.

아세탈피니언의 경우에는 김충현 등^(12,13)이 고찰한 바와 같이 피치선속도가 3m/s일 때 피니언 모재로부터 이탈한 단단한 아세탈마멸입자가 마찰면 사이에 끼어들면서 피니언표면을 긁어내는 "3-body abrasion"현상으로 인하여 대량마멸이 이루어졌고, 하중이 증가할 경우 이러한 현상이 가속화되었으나, 피치선속도가 4m/s인 경우에는 마

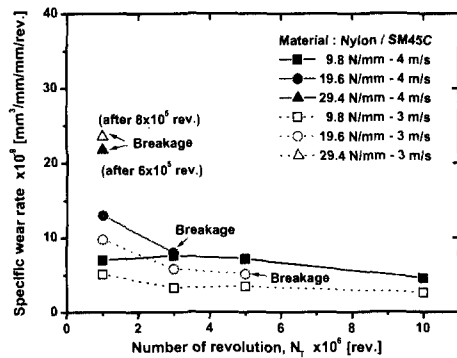
멸량이 줄어들면서 이러한 마멸의 가속화현상도 대폭 감소하는 것으로 판단된다.

Fig. 2(b)의 나일론피니언의 경우에는 피치선속도에 상관없이 실험 전구간의 비마멸량이 하중증가율에 거의 선형적으로 비례하여 증가하는 경향을 보였다. 또한, 피치선속도가 3m/s일 때에는 모든 하중값에서 초기마멸이 크게 나타난 후 일정하게 감소하는 경향을 보였으나, 피치선속도가 4m/s인 경우 하중이 9.8N/mm일 때에는 비마멸량이 실험 초기부터 중반부까지 거의 일정한 값을 유지하다가 이후 감소하였고, 하중이 19.6N/mm일 때에는 초기 마멸이 급속히 진전되었다가 감소하면서 파손에 도달하였다.

전체적으로 볼 때 아세탈피니언은 피치선속도에 무관하게 전체 실험구간에서 이가 절손되지 않았으며, 나일론피니언은 아세탈피니언에 비하여 하중에 따른 마멸특성의 변화가 훨씬 작았다.



(a)



(b)

Fig. 2 Variation of specific wear rate for various materials with revolution and pitch line velocity

3.2 피니언 치형의 변화

3.2.1 치형단면의 변화

실험진행에 따른 아세탈피니언과 나일론피니언의 치형변화과정을 투영기로 50배 확대, 관찰한 결과를 각각 Fig. 3과 Fig. 4, Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었다. 이 때 우측치면이 강기어와 물리면서 하중의 작용을 받은 접촉치면이다.

치형단면 변화과정에서 나타나는 특징은 피치선속도에 관계없이 나일론피니언보다 아세탈피니언의 마멸이 훨씬 심하다는 것과 두 가지 피니언 모두 피치선속도가 4m/s일 때의 치형이 3m/s일 경우보다 거칠다는 점이다. 피치선속도가 4m/s인 경우의 치형변화가 상대적으로 더 거칠게 나타나는 것은 플라스틱피니언이 고속으로 운전되면서 진동과 이의 과도한 힘이 발생하고 이로 인하여 불규칙한 접촉이 이루어지고 있기 때문인 것으로 사료된다.

Fig. 3과 Fig. 4에서 보는 바와 같이 아세탈피니언 치형은 접촉치면 전체에 걸쳐서 마멸이 골고루 진행된다는 것을 알 수 있다.

Fig. 3(a), (b), 그리고 (c)에 나타낸 피치선속도가 3m/s인 경우에는 하중의 증가와 더불어 마멸깊이가 급격히 증가하였고 실험 진구간에 걸쳐서 마멸진행이 비교적 일정하게 이루어지고 있음을 볼 수 있다. 그러나, 피치선속도가 4m/s일 때에는 Fig. 4(a), (b)에 보인 바와 같이 치면하중이 각각 9.8N/mm, 19.6N/mm인 경우 마멸깊이의 변화가 크지 않았으며 하중이 29.4N/mm인 Fig. 4(c)에서는 마멸이 가속화되고 있음을 알 수 있었다.

Fig. 3(a)와 Fig. 4(a)를 보면 하중이 9.8N/mm인 경우 피치선속도 변화에 따른 마멸깊이변화는 두드러진 차이를 보이지 않았으나, Fig. 3(b)와 Fig. 4(b)의 하중이 19.6N/mm인 경우 피치선속도가 4m/s일 때에는 3m/s일 때보다 초기 마멸량이 감소하였으며, 이후 마멸반생량이 지속적으로 감소하여 10⁷회전이 진행된 후 전체 마멸깊이에서 큰 차이를 보였다. Fig. 3(c)와 Fig. 4(c)의 하중이 29.4N/mm인 경우에는 이러한 차이가 더욱 두드러져서 피치선속도가 4m/s일 때 초기마멸깊이와 10⁷회전 후 전체 마멸깊이가 현저히 감소하였다. 피치선속도의 증가에 따른 아세탈피니언의 치면 마멸깊이의 감소현상은 전술한 비마멸량의 감소결과와 잘 일치한다.

Fig. 5와 Fig. 6의 나일론피니언의 치면 마멸깊이 변화를 아세탈피니언과 비교하여 보면 치형변화량이 극히 미미하였으며, Fig. 5(a), (b)와 Fig. 6(a), (b)에 보인 것처럼 피치선속도와 상관없이 회전수가 증가하여도 치면의 마멸깊이는 크게 증가하지 않았다. 그러나, 하중이 19.6N/mm, 29.4N/mm인 경우에는 이가 절손되었으며, 이러한 절손은 한 쌍만의 치형이 물림을 가지는 구간에서 치면하중이 극대화되면서 발생하게 되므로⁽¹³⁾ 나일론피니언 치형의 절손위치를 파악하기 위하여 한 쌍의 치형만이 물림을 갖는 단일치접촉 구간의 양쪽 경계위치인 최고 단일치접촉점(Highest Point of Single Tooth Contact, HPSTC)과 최저 단일치접촉점(Lowest Point of Single Tooth Contact, LPSTC)을 통과하는 원을 표시하였다.

Fig. 5(b)와 (c), Fig. 6(b)와 (c)를 보면 나일론피니언의 절손은 피치선속도에 무관하게 하중이 작용하는 치면의 HPSTC에서 발생하여 반대 치면의 피치원(pitch circle) 부근이나 이뿌리쪽을 향하여 진행되는 것으로 나타났다.

피치선속도가 3m/s인 경우 작용하중이 각각 19.6N/mm, 29.4N/mm일 때 4x10⁶회전과 8x10⁵회전에서 이가 절손되던 것이 피치선속도가 4m/s로 증가하면 각각 2x10⁶회전, 6x10⁵회전에서 이가 절손되어 조기에 파손이 발생함을 알 수 있었다.

실험 직후 나일론피니언과 맞물린 강기어를 관찰해 보면 피치선속도가 4m/s인 경우 나일론이 더 많이 전이된 것을 볼 수 있었다. 강기어에 전이된 나일론재질이 나일론피니언과 접촉하는 경우에는 마찰계수가 감소하는 효과도 있으나 이보다는 전도율이 낮은 재질간의 접촉에 의하여 발생된 마찰열의 발산이 어려워지면서 치면온도가 상승함으로써 나일론재질의 열화(degradation)를 가속화하게 된다.⁽¹⁴⁾

또한, 김충현 등⁽¹²⁾의 왕복동실험에서 실험 직후 나일론플레이트 시편의 표면이 고온이면서 점성을 띄고 있었던 것으로 보아 기어실험의 경우에도 마찰열로 인한 재질표면의 용융층이 존재할 것으로 추정된다.

따라서, 피치선속도가 상승하는 경우에는 치면에 축적되는 마찰열의 증가로 인하여 온도가 상승하면서 나일론재질의 열화를 촉진함으로써 마멸진행속도가 가속화되어 이의 조기파손을 일으킨다고 판단할 수 있다.

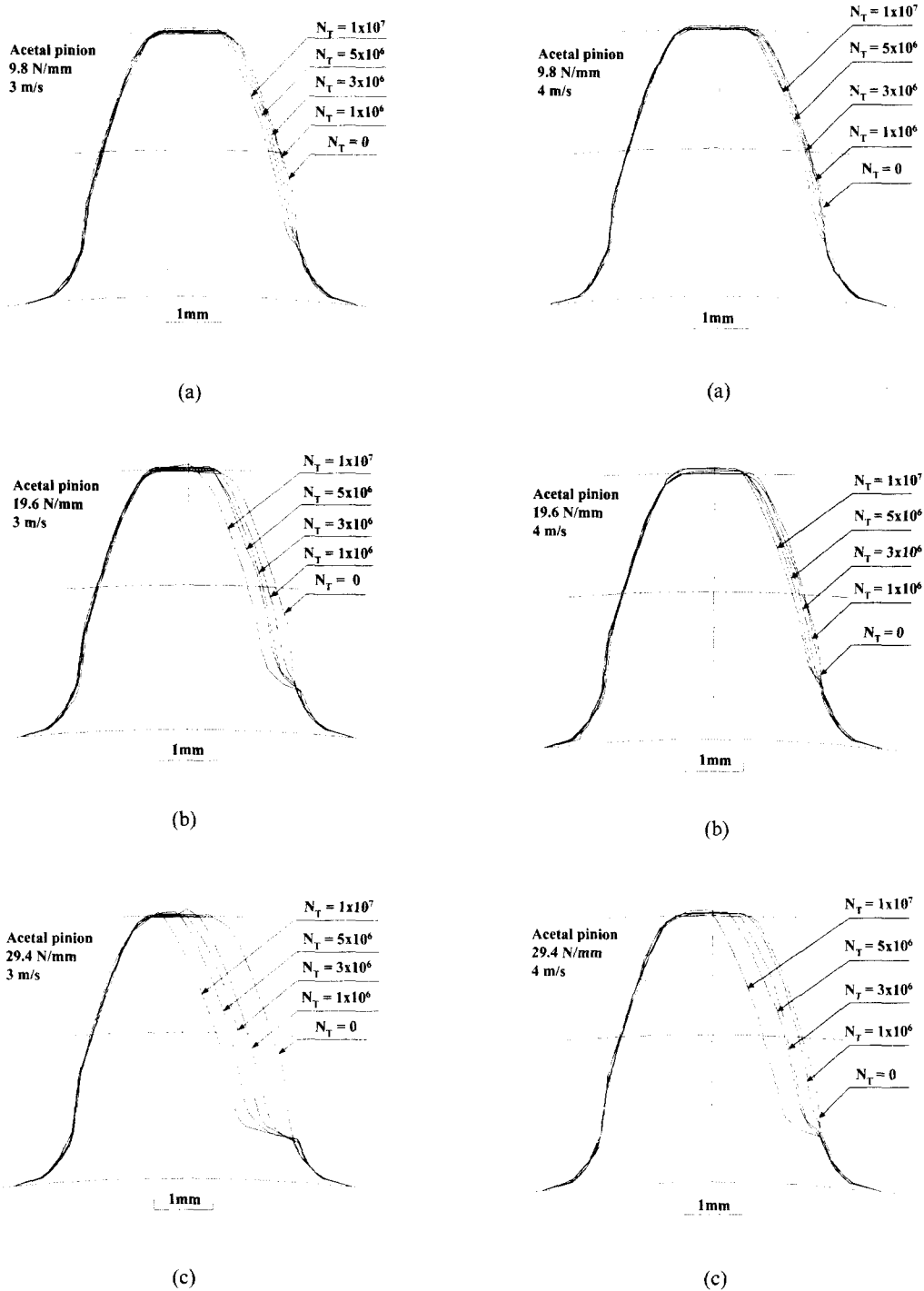
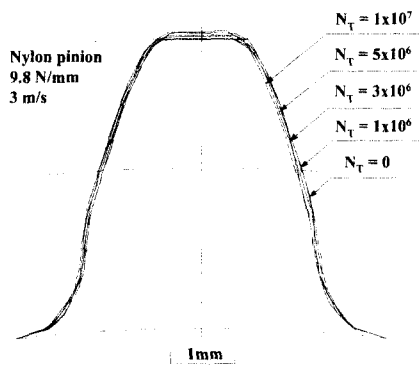
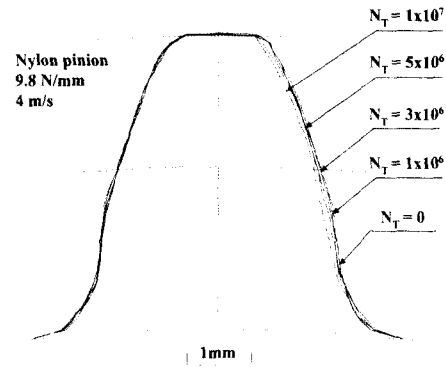


Fig. 3 Projected drawings of tested acetal pinion specimens for pitch line velocity of 3m/s

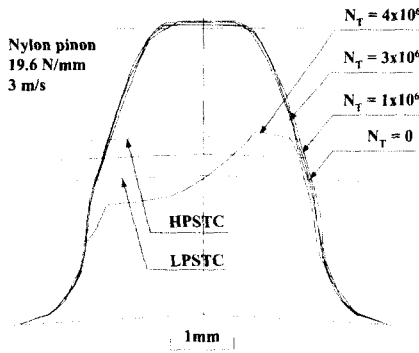
Fig. 4 Projected drawings of tested acetal pinion specimens for pitch line velocity of 4m/s



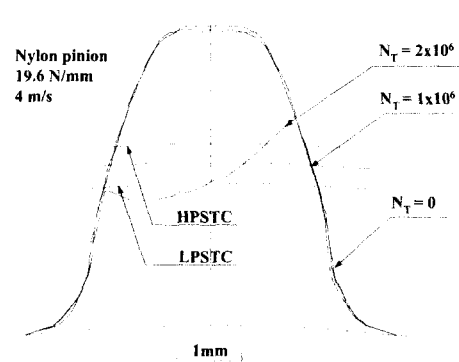
(a)



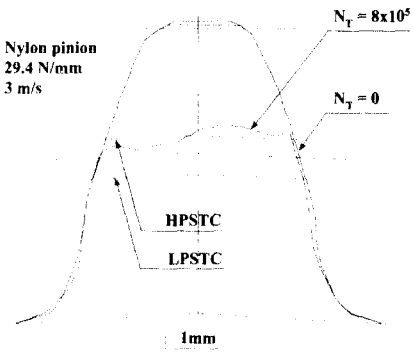
(a)



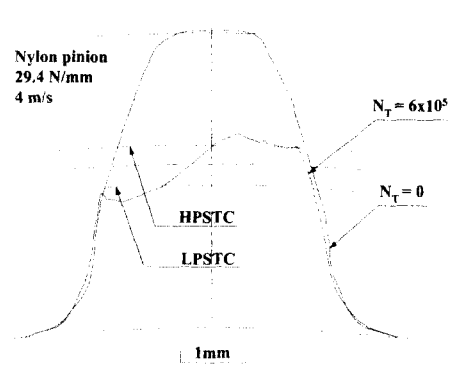
(b)



(b)



(c)



(c)

Fig. 5 Projected drawings of tested Nylon pinion specimens for pitch line velocity of 3m/s

Fig. 6 Projected drawings of tested Nylon pinion specimens for pitch line velocity of 4m/s

3.2.2 치면 마멸깊이의 변화

전술한 피치선속도의 차이에 따른 피니언 치형 변화를 보다 자세하게 비교하고 마멸발생 위치를 세부적으로 파악하기 위하여 접촉치면상의 위치에 따른 마멸깊이의 변화를 고찰하였으며 그 결과를 Fig. 7부터 Fig. 10에 나타내었다. 여기에서는 물림이 시작되는 물림시작점(starting point of action, K), 피치점(pitch point, P), 이끝점(tip of tooth, Ti), 최고 단일치접촉점(H), 그리고 최저 단일치접촉점(L)을 마멸위치 파악을 위한 기준점으로 선정하였다.

Fig. 7과 Fig. 8에서 아세탈피니언은 피치선속도와 작용하중의 크기에 무관하게 피치점과 물림시작점 사이의 중간부분, 그리고 이끝 부분에서 마멸이 많이 이루어진 것으로 나타났다.

Fig. 7의 피치선속도 3m/s인 경우를 보면 하중 증가에 비례하여 아세탈피니언의 마멸깊이가 크게 증가하였으며 고하중인 경우에는 치면 전체에 걸쳐서 마멸이 고르게 이루어졌다.

Fig. 8의 피치선속도가 4m/s인 경우 아세탈피니언은 하중에 상관없이 초기마멸깊이가 피치선속도 3m/s인 경우의 20% 정도로 급감하였으며 전체적으로 볼 때 마멸깊이는 40~80% 수준에 머물렀다. 또한, 치면 작용하중이 9.8N/mm에서 19.6N/mm로 증가하여도 마멸깊이변화는 크지 않았으나 하중이 29.4N/mm인 경우에는 마멸깊이가 급격하게 증가하였다.

피치선속도가 4m/s일 때 Fig. 8(a)에 보인 초기 운전구간(1×10^6 회전)에서는 치면하중이 9.8N/mm, 19.6N/mm인 경우 이론적으로 구름접촉(rolling contact)만 발생하는 피치점에서는 마멸이 매우 작고 미끄럼속도값이 큰 피치점 전후 부분에서는 상대적으로 마멸이 많이 나타났다. 따라서, 아세탈의 경우 취성이 강한 재질특성상⁽¹²⁾ 전단력이 작용하는 미끄럼접촉 발생부에서 마멸이 발생한 후 상대적으로 돌출된 피치점 부위가 다시 마멸되는 과정이 되풀이되면서 치면전체의 마멸이 진행되는 것으로 판단된다.

Fig. 9와 Fig. 10의 나일론피니언의 경우 피치선속도가 4m/s인 경우에는 3m/s일 때보다 치면의 마멸깊이가 작은 것으로 나타났다. 그러나, Fig. 2의 비마멸량 분석자료에 의하면 피치선속도의 상승은 나일론피니언의 비마멸량 증가로 이어졌음에도 불구하고 Fig. 10의 마멸깊이는 오히려 감소

하였으므로 접촉치면 이외의 다른 곳에서 마멸이 이루어졌음을 짐작할 수 있다.

또한, 나일론피니언의 경우 동일치형 내에서 이뿌리부분부터 이끝까지의 치면형상변화가 아세탈에 비하여 불균일할 뿐만 아니라 오히려 실험 전보다 이두께가 증가한 것으로 나타난 곳도 있었다. 이것은 나일론재질이 용융되어 점성을 띤 상태에서 상대치면과 접촉하면서 불규칙한 유동을 일으킨 결과라고 볼 수 있다.

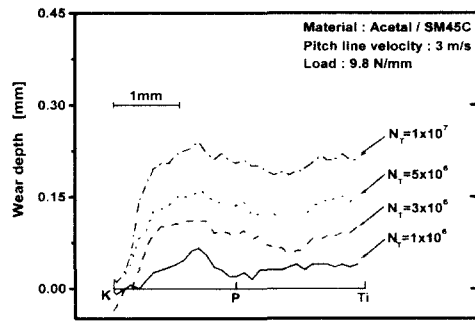
실험을 거친 나일론피니언의 접촉면 반대쪽 치면을 살펴보면 피치선속도가 3m/s인 경우에는 마찰흔적이 거의 없었으나 피치선속도가 4m/s인 경우에는 하중의 크기와 상관없이 실험에 사용된 모든 나일론피니언의 반대쪽 치면전체에서 마찰흔적을 볼 수 있었다.

또한, Chen⁽¹⁶⁾ 등은 플라스틱기어의 경우 생성된 마찰열의 작용으로 치면재질이 연화(softening), 팽창된 후 이가 변형을 일으킴으로써 조기에 파손될 수 있다고 하였다. 이들에 의하면 이에 휨(deflection)이 일어남과 동시에 플라스틱재질 내부에 크리프(creep)가 발생하면 피니언과 기어 사이에 불필요한 간섭이 생겨나고 이로 인하여 피팅(pitting)과 치형변화가 발생하며 이러한 간섭이 심화되면 극심한 마찰열의 발생으로 인해 재질의 용융점을 넘어서는 온도에 도달한다고 하였다.

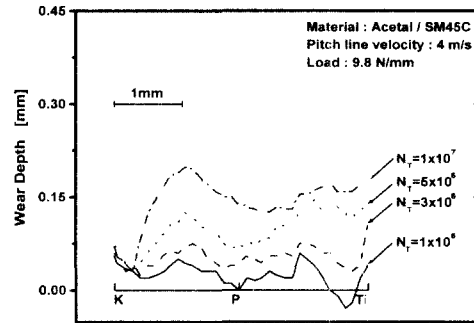
이상과 같은 기존의 연구결과와 실험 후 피니언치면의 관찰결과를 토대로 하여 실험결과를 분석해 보면, 나일론피니언은 피치선속도가 3m/s에서 4m/s로 증가함에 따라 강기어와의 물성차이에 따른 물림조건의 악화로 인하여 과도한 휨이 발생함으로써 강기어와 간섭현상을 일으키는 것으로 판단된다.

이러한 간섭현상에 의하여 아세탈피니언의 접촉면과 그 반대면에 극심한 마찰이 발생하여 치면온도가 상승, 치면에 용융층이 생성됨으로써 기계적인 강도가 약화되어 치면에서 나일론재질이 이탈되는 피팅이 발생한 후 인장축 치면에 균열이 생성되어 반대편 치면 쪽으로 성장함으로써 절손을 일으키는 것으로 판단된다.⁽¹³⁾

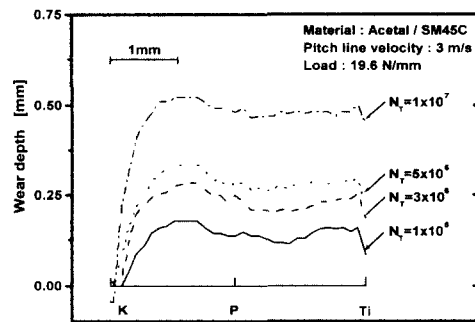
한편, 상대적으로 내열성이 우수한 아세탈의 경우 운전속도 증가에 따른 재질특유의 냉각효과 상승으로⁽¹⁴⁾ 운전조건이 개선됨으로써 치면에 마찰열이 축적되지 않기 때문에 마멸이 감소하고 피로파손이 발생하지 않는 것으로 판단된다.



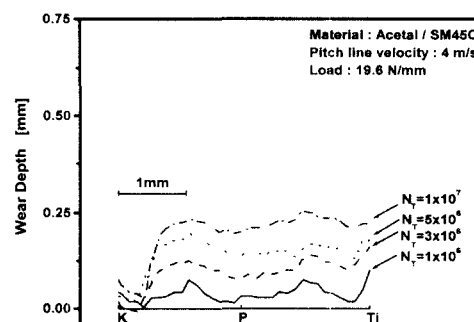
(a)



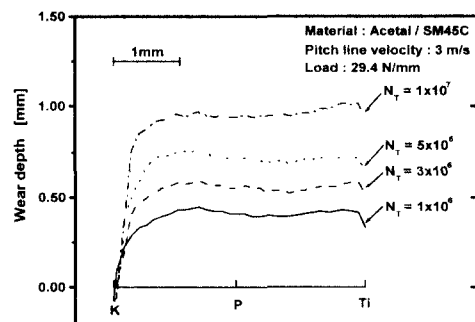
(a)



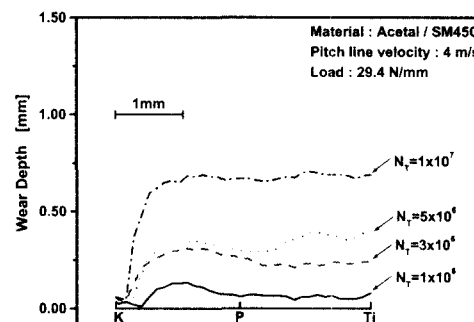
(b)



(b)



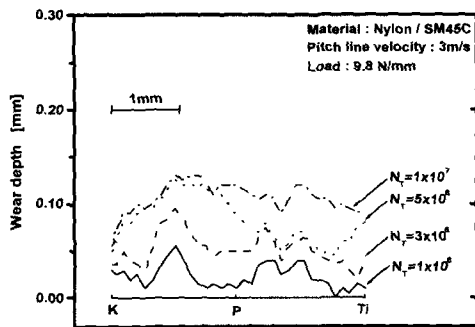
(c)



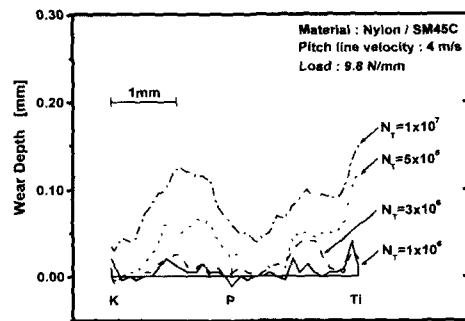
(c)

Fig. 7 Variation of acetal pinion tooth profile with applied load for pitch line velocity of 3m/s

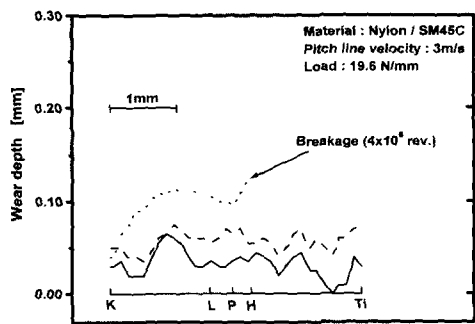
Fig. 8 Variation of acetal pinion tooth profile with applied load for pitch line velocity of 4m/s



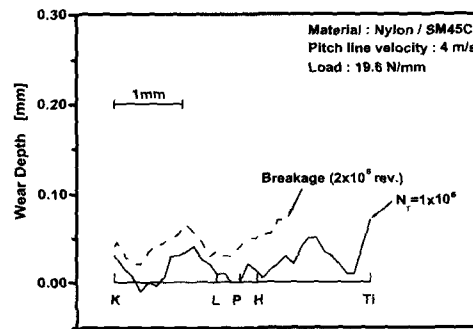
(a)



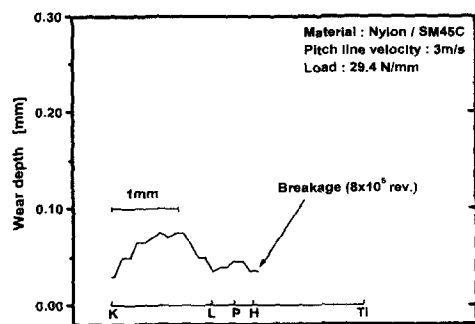
(a)



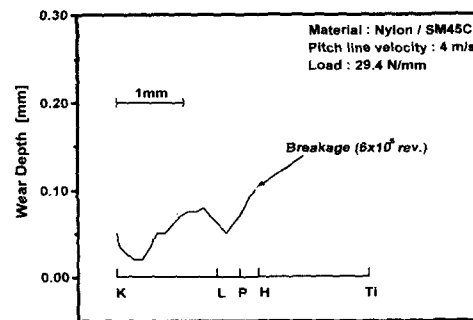
(b)



(b)



(c)



(c)

Fig. 9 Variation of Nylon pinion tooth profile with applied load for pitch line velocity of 3m/s

Fig. 10 Variation of Nylon pinion tooth profile with applied load for pitch line velocity of 4m/s

4. 결론

기어내구성 실험을 통하여 전술한 실험조건 내에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 아세탈피니언의 경우 피치선속도가 3m/s에서 4m/s로 증가함에 따라 마멸량이 감소한 반면 내열성이 떨어지는 나일론피니언은 마멸량이 증가하였을 뿐만 아니라 조기에 파손이 이루어졌다. 이것은 고속운전에 따른 나일론피니언의 과도한 휨으로 상대기어와의 간섭이 발생하면서 고온에 노출되어 기계적강도가 크게 감소하였기 때문이라고 판단된다.
- (2) 아세탈피니언은 접촉지면 전체에서 균일하게 마멸이 발생하였으며 나일론피니언의 경우에는 지형변화는 매우 적었으나, 피치선속도에 상관없이 하중이 19.6N/mm와 29.4N/mm인 경우에 최고 단일치접촉점 부근에서 절손되었다.
- (3) 아세탈피니언과 나일론피니언 모두 전술한 실험조건 내에서 피치선과 물림시작점 사이의 중간부분과 이끝부분에서 가장 많이 마멸되었으며 이것은 미끄럼마찰로 인한 전단력과 마찰열의 작용에 의한 것으로 판단된다.
- (4) 파손이 발생하지 않는 하중 범위 내에서는 나일론이 아세탈보다 더 우수한 마멸특성을 보유하고 있으며, 나일론피니언을 사용할 경우에는 단위치폭당 하중과 더불어 회전속도의 크기가 중요한 설계변수가 된다는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

- (1) 이기만, 정동천, 1992, "플라스틱 해설과 물성집," 한국플라스틱기술정보.
- (2) 한영수, 현동훈, 박원규, 정태형, 1999, "성형 플라스틱 기어 핸드북," 일진사.
- (3) 塚本尙久, 1987, "動力傳達用プラスチック齒車の實用化設計," 日本機械設計, 第31卷, 第16号, pp. 25~91.
- (4) 塚本尙久, 丸山廣樹, 三村博, 1993, "齒車材としてのポリカーボネートの評価," 日本機械學會論文集(C卷), 59卷, 568号, pp. 3866~3873.
- (5) 塚本尙久, 丸山廣樹, 三村博, 1995, "ポリマアロイ齒車の研究," 日本機械學會論文集(C編), 61卷, 581号, pp. 245~252.

- (6) 塚本尙久, 丸山廣樹, 西田知照, 1997, "生分解性プラスチック齒車の研究," 日本機械學會論文集(C編), 60卷, 580号, pp. 4318~4324.
- (7) 塚本尙久, 瀧 長彦, 西田知照, 1987, "プラスチック齒車の強度設計法に關する研究," 日本機械學會論文集(C編), 53卷, 486号, pp. 432~435.
- (8) 寺島健一, 塚本尙久, 西田知照, 石 嘉蓀, 1985, "動力傳達用プラスチック 齒車に關する研究(齒元の異常磨耗とピッチ近傍でのき裂の發生機構)," 日本機械學會論文集(C編), 51卷, 469号, pp.2309~2315.
- (9) 塚本尙久, 1979, "プラスチック齒車の強度に關する研究(第6報)," 日本機械學會論文集 C編, 50卷, 459號, pp. 2165~2173.
- (10) 塚本尙久, 丸山廣樹, 三村博, 1991, "齒車におけるポリアセタルの低摩擦化の效果(第2報, フッ素樹脂および鑛油を充てんしたポリアセタルの場合)," 日本機械學會論文集(C編), 57卷, 533号, pp. 236~241.
- (11) 塚本尙久, 丸山廣樹, 三村博, 1991, "齒車におけるポリアセタルの低摩擦化の效果(第2報, フッ素樹脂および鑛油を充てんしたポリアセタルの場合)," 日本機械學會論文集(C編), 57卷, 533号, pp. 230~235.
- (12) 김충현, 안효석, 정태형, 2000, "나일론과 폴리아세탈의 왕복동마찰마멸특성에 관한 고찰," 대한기계학회논문집 A권, 제24권 제3호, pp. 786~793.
- (13) 김충현, 이성철, 안효석, 정태형, 2000, "아세탈과 나일론피니언의 마찰 및 운전특성에 관한 고찰," 대한기계학회논문집 A권, 제24권 제9호, pp. 2387~2396.
- (14) Mark, Herman F., 1985, "Encyclopedia of polymer science and engineering/editorial board - Vol. 1," pp. 21~22.
- (15) Theberge, J. E., Arkles, B. and Cloud, P., 1974, "How plastics wear against plastics," *Machine design*, Oct. 31, pp. 60~61.
- (16) Chen, J. H., Juarbe, F. M. and Hanley, M. A., 1981, "Factors affecting fatigue strength of Nylon gears," *J. of Mechanical design - Transaction of the ASME*, Vol. 103, pp. 543~548.