

## 자동차용 타이어 스틸 코드의 제조기술(II)

이 준 범\*

### 5. Tire steel cord의 품질에 미치는 영향

#### (1) 화학성분이 강도에 미치는 영향

종래의 강선은 C, Si, Mn을 주성분으로 한 결정입도가 큰 강을 사용하였기 때문에 기계적 성질, 특히 신선성 또는 인성면에서는 양호하지만, 최근에 제강법의 급격한 발전과 전위론 등의 micro적 고찰의 도입으로 이러한 사고가 변하고 있다.

Tire steel cord와 같은 고탄소강 선재, 주로 pearlite조직을 가진 강선의 강도향상방법은 합금 원소 첨가에 의한 것과 냉간신선가공에 의해 강도를 조정하는 것이 있는데, 전자에 대해서는 다음에 서술하기로 하고 후자에 대해서 살펴보면 신선과정중 강선의 기계적 성질에 미치는 인자를 2가지로 구분하면 ㉠ 신선중 강선의 온도상승으로 인한 동적·정적 strain 시효, ㉡ 강선의 탄화물형상과 pearlite lamellar 간격이 있고, ㉠의 경우 탄소강의 합금원소의 효과에 대해서 간단히 살펴보면 다음과 같다.

#### ① Al 첨가의 영향

선재에 함유되어 있는 C, N, B, O, H 등 침입형 용질원자는 신선시에 신선 Dies와 신선재 등의 마찰열 및 소성변형 열에 의해 강선은 200℃

부근까지 상승하고 이 용질원자와 전위의 작용으로 시효현상(aging)이 일어나 신선성 혹은 강선의 성질을 노화시키는 것으로 알려져 있다. 예컨대 여름과 겨울의 신선가공 또는 연속신선기에 의한 신선과 단독신선기에 의한 가공방법의 차이로 강선의 품질이 변하는 것이다. 이는 전술한 시효에 의한 것으로, 그런 점에서 Al의 첨가에 의한 강중의 N을 ALN으로 고정시킴으로써 결정립을 미세화시켜 특성을 향상시키는 효과가 있다.

○ Al과 N의 stabilizer 효과 : 강중에 Al량이 0.030% 이상 되면 ALN 석출이 증가하고 그 결과 고용 N가 크게 감소하는 효과가 있고, 함유되어 있는 N량이 0.004% 이하가 되면 Al량 효과는 0.030% 정도로는 불충분하여 실질적으로 Al의 첨가가 필요하게 된다. 또한 강의 미세화 경향은 Al이 0.030% 정도 이상 첨가되면 결정립도 번호(ASTM NO) 6~8의 세립조직을 갖지만, N이 0.004%에서는 Al을 증가시켜도 조대립과 세립이 혼재된 혼립상태를 나타낸다.

이는 후공정 가공성에 악영향을 미치게 된다. 그래서 Austenitizing 온도에서 Al을 첨가하는 이유는 분명히 알 수 있고, 이상에서 Al첨가강 세립강은 단면감소율이 통상재보다 양호하여 높은 가공성을 시사하고 있다.

\*산업과학기술 연구소 선제연구실장, 공학박사

② Ti 첨가의 영향

Ti도 전항의 Al처럼 강증의 고용 N의 고정에 유효한 원소로서 친화력은 Al보다 크다. 그래서 autenite 결정립을 미세화시키는 효과가 있다. 그러나, Ti는 일반적으로 비금속 개재물에 대한 문제가 있는 것으로 생각되고 있지만, Ti가 0.10% 정도에서는 약간의 Ti 특유의 작은 각 형태를 띠게 되나 이 정도라면 충분히 사용할 수 있으며, Ti가 0.15%를 초과하면 거대 개재물이 발견되므로 주의할 필요가 있다. 신선성에 있어서 Ti첨가재(0.04% Ti)와 통상재를 비교하면 Al과 같이 단면감소율, 염회치는 우수하고, 특히 굴곡가공성이 좋은 것으로 알려져 있다. 실용예로는 spring 강에서는 내피로성이 우수하다.

③ Si 첨가의 영향

일반적으로 Si의 증가와 더불어 강도가 상승한다는 것은 알고 있지만 이 강도상승이 인성을 희생시키는지의 여부는 명확히 밝혀져 있지 않다. Si양이 지극히 소량인 강선은 신선후의 Strain 시효가 적고 염회치가 우수하다는 보고가 있으며, 보통 Si양을 높여 PC강선 등에 사용하는 경우 relaxation치가 감소하는 경우가 있다는 보고가 있다.

강선의 특성상 4.5mmφ, 2.9mmφ의 저온소둔후의 결과 강도는 조금 저하되지만 단면감소율, 굴곡가공성이 우수하고 내피로성이 큰 것이 확인되고 있으며, 가혹한 가공을 필요로 하는 용도에는 사용이 기대된다.

한편 Si양이 많은 것은 강도는 상승되나 인성은 Si양이 적은 것에 비하면 약간 저하되어 1.5%Si 정도면 충분할 것으로 기대된다. 그러나 Si에 의한 탈탄현상을 주지시킬 필요가 있다.

④ Cr 첨가의 영향

Cr을 첨가한 고탄소 강선의 실용화는 일부 PC강선에서 이루어지고 있는데, 이것은 조직, 인성면에서 사용되는 개념이 강한 것으로 pearlite 조직에 있어서 세멘타이트간격의 인자가 지배하

는 변태온도와 관계가 있다. 변태곡선에서 변태개시곡선이 우측으로 장시간 이동되면 동일 냉각곡선이 있어서 변태개시온도는 낮아진다. 따라서 Cr을 첨가하면 변태곡선은 우측으로 이동하고 pearlite조직을 미세화시키며 또한 탄화물의 형성 경향이 서로 틀리기 때문에 강선의 기계적 성질은 변하게 된다. Cr 첨가효과는 변태온도와 세멘타이트간격 인자가 지배적으로 되어 강화효과가 나타난다.

⑤ Mn 혹은 Cr 첨가의 영향

전항에서는 Mn을 0.5%로 일정하게 하여 Cr의 효과를 살펴본 것이고, 여기에서는 Mn과 Cr을 복합한 효과를 살펴본 것으로, Mn과 Cr을 조합한 강에서 Cr과 Mn량을 증가시키면 변태곡선은 장시간측으로, nose는 약간 고온측으로 이동하는데, patenting조건에서 pearlite 변태개시, 종료시간을 조사하면 100% 변태완료시간이 현저하게 길어지는 것이 확인되고 있다.

이상과 같은 점을 고려할 때 patenting조건에서 미세 pearlite를 얻는 것은 변태온도에 의해 좌우되고(조직, 강도), 또한 염욕온도에 따라 강도에 차이가 난다(조직의 차이). 또한 Mn, Cr의 강도가 증가하는 것은 lamellar간격의 감소에 기인하는 것이다.

이상에서 합금원소에 의한 영향은 제조공정상, 즉 선재의 물리적 성질을 확보하는 측면에서 검토되는 사항으로 선재의 제어냉각에서 조직제어를 어떻게 하느냐 하는 데 큰 영향을 미치게 된다. 전술한 변태나 Austenizing온도는 실제로 중요한 인자로 보고 품질관리를 하고 있다.

(2) 개재물 및 편석이 신선가공성에 미치는 영향

일반적으로 강재에는 비금속 개재물이 어느 정도 함유되어 있는데, 이 비금속 개재물의 종류, 형상 및 분포는 어느 형태보다도 강재의 제성질에 영향을 미치고 제품결합의 원인이 되는 경우

가 많다. 즉, 개재물의 영향은 ㉠ 기계적 성질이 열화되고 ㉡ 기계적 성질의 이방성을 크게 하며, ㉢ 열처리, 특히 소입의 경우에 소입 crack의 기점이 되고, ㉣ 피로파괴의 기점이 되며, ㉤ 냉간 가공 및 열간가공시 crack의 원인이 되고, ㉥ 인발가공 및 기계가공시 다이스 및 공구류를 손상시킨다.

비금속 개재물은 강재의 성질에 큰 영향을 미치는 중요한 문제로 크게 2가지로 구분할 수 있다. 첫째, 내부개재물이라고 칭하는 용강중에 반응 또는 응고중에 일어나는 반응의 결과 정출 또는 석출에 의한 것, 둘째 다른 외래개재물이라고 칭하는 ladle 탕도 등의 내화물의 용손의 결과 강중에 개재물로서 남아있는 것으로 구분할 수 있다.

강재의 품질관리, 품질보증이라는 관점에서 비금속 개재물의 종류 및 양을 측정하는 방법은 여러가지가 있으나, 현미경 시험방법에 의한 개재물의 형태, 분포의 특징은 다음과 같이 분류할 수 있다.

① A계 개재물

가공에 의해 점선으로 변형하는 유화물과 Si산염으로 분류하여 전자를 A1계 개재물, 후자를 A2계 개재물이라 한다.

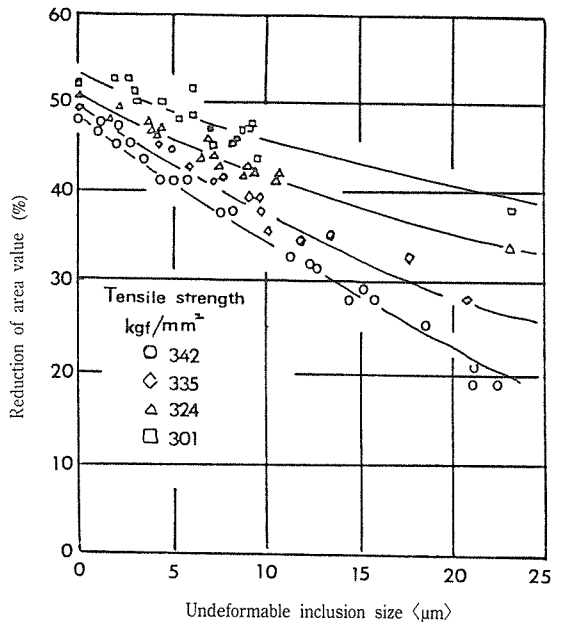
② B계 개재물

가공방향에 집단을 형성, 불연속적인 입상의 개재물이 배열하는 것(알루미나 등)으로 Nb, Ti, Zr(단독 내지 2종 이상)을 함유하는 강으로 필요에 따라 알루미나 유산염계와 Nb, Ti, Zr의 질화물계로 분류하여 전자를 B1, 후자를 B2계 개재물이라 한다.

③ C계 개재물

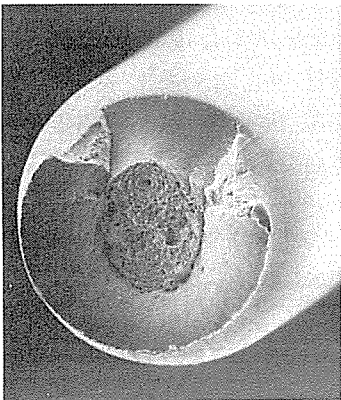
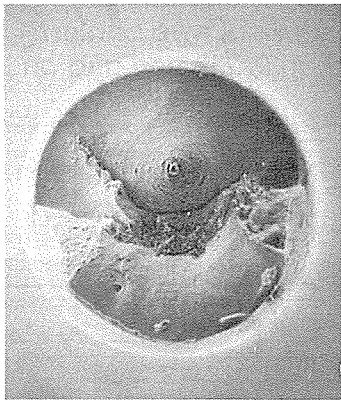
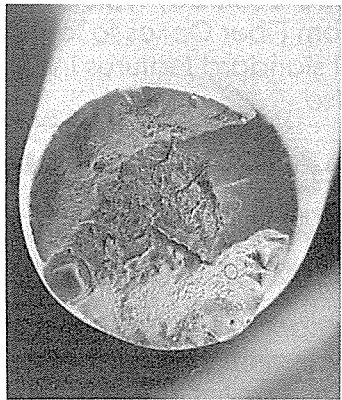
점선변형을 하지 않고 불규칙적으로 분산된 것(입상산화물)으로 Nb, Ti, Zr(단독 내지 2종 이상)을 함유하고 있는 강으로 필요에 따라 산화물계와 Nb, Ti, Zr의 탄질화물로 분류한다. 전자를 C1, 후자를 C2계 개재물이라 한다.

(그림 14)는 고강도 선재에서 개재물의 크기로 인한 단면감소를 저하를 보여주고, (그림 15)는 파단면 형태의 예를 보여주는 것으로 비금속 개재물은 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>계, SiO<sub>2</sub> 및 TiN 등 비연성 개재물이 존재하면 신선, 연선 가공공정에서 단선되어, cord의 피로파괴의 원인이 된다.

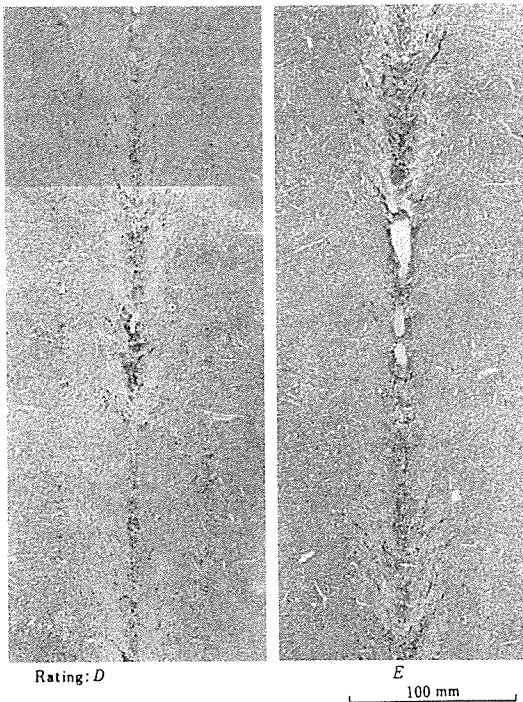


(그림 14) 여러가지 비변형 개재물 size를 가지면서 인장강도 342, 335, 324, 301 kg/mm인 소재의 단면감소율(%)

비연성 개재물인 TiN의 Ti 혼입을 방지하여 생성을 감소, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>계 및 SiO<sub>2</sub>의 감소로 Al침가량과 탈 가스처리를 억제할 필요가 있는 것으로, Al침가량, 합금철, slag 및 ladle 등으로부터의 혼입량도 포함시켜 관리하고, 탈 가스처리 효과도 검토하여야 한다. 또한 제강, 연주공정에서 생성되는 편석은 (그림 16)에서 그 예를 보여주고 있듯이, 이같은 조직은 신선과정까지 연속되어 최종 파단이 일어나 신선가공성에 악영향을 미친다. 이를 저감시키기 위한 방법으로는 연주에서 EMS를 사용하거나 soft reduction ma-

		
100μm	100μm	100μm
Reduction of area (%) 43	36	26
Inclusion size (μm) 5.8	12	22

(그림 15) 단면감소율 43, 36, 26%를 가지는 선의 인장파단 예



(그림 16) 고탄소강에서 발생하는 연주 Bloom의 중심편석 예(Bloom : 250mm)

chine을 사용하는 방법이 있다.

### (3) 신선가공시 강도에 미치는 영향

#### ① 신선가공시의 변형단계

고탄소 강선이 강한 소성가공을 받으면 가공량에 의해 강도가 크게 변화하는 것을 알 수 있다(그림 5 참조). 여기에서 곡선의 균배변화, 즉 가공경화율의 변화를 보면, 곡선에서 1, 2, 3의 단계로 구분되는데, 이 단계의 특징을 보면 다음과 같다.

변형의 1단계는 세멘타이트판 ferrite matrix에 대량의 전위가 도입되어 sub cell구조를 형성하여 강도는 급증하고, 연성은 급감한다. 전위밀도가 증대하면 sub cell구조는 보다 안정되기 때문에 cell구조로 전위를 재배열하면서 변화하나 cell형성에 의한 전위의 평행자유행정은 짧아지게 되고 강도는 높아진다. 또한 cell이 형성된 뒤에는 변형의 진행과 더불어 cell 내부의 전위는 소실되고 cell경은 점차로 작아진다는 사실이 G. Langford에 의해 알려져 있다.

변형의 2단계는 신선가공 총감면율이 40% 이상 되면 고탄소 강선의 변형이 확실해지는 특징을 보이는데, pearlite의 층상간격은 감소하고 신선방향으로 재배열한다. 선의 횡단면의 조직은 과관형으로 되고 신선방향에 평행한 pearlite colony는 층상간격이 세밀하여진다. 수직방향의 colony는 cementite가 <자로 변형하는 것이 보인다.

변형의 3단계가 되면 고탄소강의 구조는 완전히 신선방향에 배열한 층상간격은 미세화되고 세멘타이트는 macro로 보면 연속적으로 연결된 것을 볼 수 있지만, micro로 보면 약간 방위차가 있는 미세 결정립 또는 sub grain으로 된다.

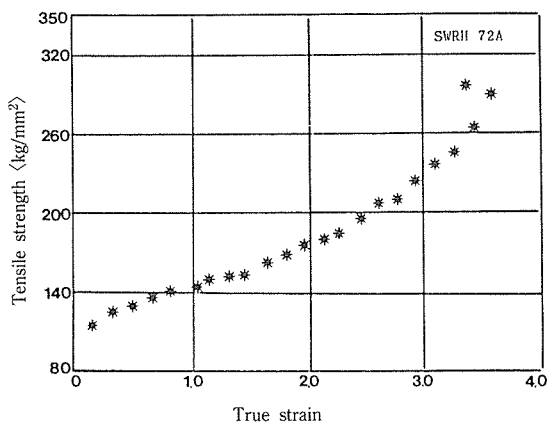
다이스에 의한 신선가공에 있어서 변형은 이상의 과정을 거쳐 진행된다.

[그림 5]의 변형 3단계에서 볼 수 있듯이 가공경화가 급상승하는 현상에 상당하는 변형의 신선은 고탄소 강선의 제조에 있어서 마지막 강선에 요구되는 성질을 얻기 위한 필수작업일 뿐만 아니라 요구되는 단면형상(형상, 치수), 유효한 표면성상을 얻기 위해서도 중요한 작업이다. 또한 신선작업을 보면 신선중인 강선의 단선, 표면흠의 발생, 마무리 강선의 연성저하, 다이스의 마모 등의 trouble은 신선작업의 능률을 저하시켜 강선제조업자에게도 큰 문제점으로 대두되고 있다.

이에 신선작업능률에 큰 영향을 미치는 신선의 선온도에 착안하여 강선의 온도상승에 따른 취화원인이 강선중의 탄소에 의한 것이라는 것을 기초적·정량적으로 파악하여 그 결과를 신선작업에 응용함으로써 보다 좋은 작업능률과 연성이 풍부한 강선의 제조기술을 얻을 수 있다.

일례로 필자의 연구실에서 탄소함유량이 0.72%인 선재를 신선가공한 인장강도 변화를 [그림 17]에 나타냈는데, 전술한 변형의 단계와 유사한 곡선을 보여주고 있다.

② 신선조건과 선온(신선시의 선온)



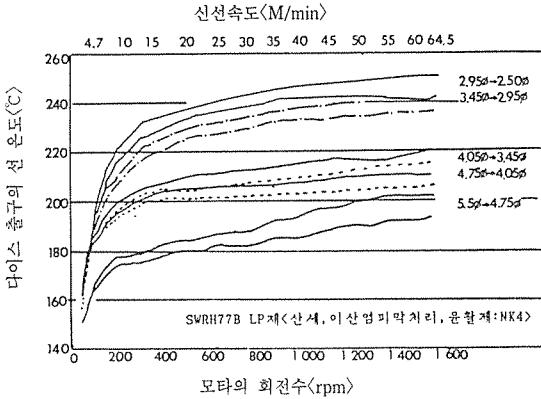
(그림 17) 탄소함유량 0.72% 강의 신선시 인장강도 변화

Pomp, 니시오카 등의 연구자는 신선시의 선온과 신선후의 강선의 기계적 성질과의 관계를 연구하였는데, 다음에 고탄소강에 있어서 신선시의 선온과 마무리강선의 기계적 성질, 강선의 온도상승에 의한 취화기구, 강선의 냉각속도, 수냉신선의 효과 등을 서술하고자 한다.

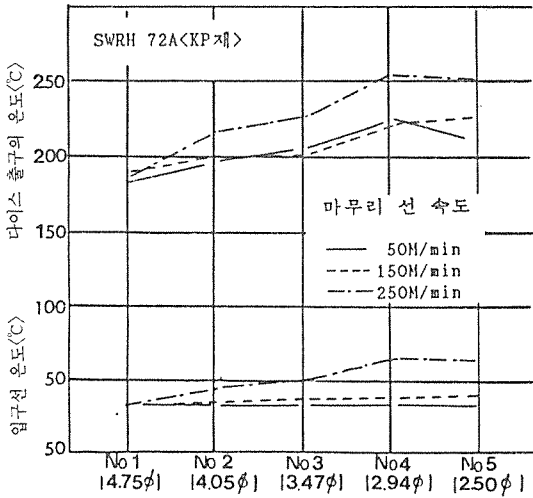
일반적으로 강선의 온도가 신선속도와 더불어 상승되는 것은 [그림 18]에서 보여주고 있듯이 첫번째 다이스를 통과한 강선표면에서 강선의부로 달아나는 열량이 신선속도가 증가함에 따라 적어지기 때문이고, 두번째는 강선의 다이스중의 변형저항, 표면마찰 상태도 신선속도에 의해 조금 변화하지만, 전자의 경우 신선속도비가 100배 정도 증대하여도 고탄소 강선의 경우는 수 % 정도여서, 온도상승에는 기여하지 않는다. 후자의 효과는 중요한데 유효상태가 양호한 경우에는 이 이상 변화하지 않는 것으로 반증되나 신선 pass와 더불어 강선의 온도가 상승하는 것은 강선의 신선시 변형저항에 비례한 열의 발생 때문이다.

연속신선기의 신선의 경우 다이스의 발열이 완전히 제거되지 않고 축적되어 최종 다이스에서 출구의 선온도는 단두신선기보다 높다. [그림 19]는 신선속도와 다이스의 입구, 출구의 온도관계를 나타내는데, 여기에서 알 수 있듯이 강도가

높으면 다이싱중의 변형저항이 높고 선의 온도 상승도 크다. 또한 신선속도와 신선재의 성질을 비교한 것이 (그림 20)에 나타나 있다. 신선속도가 크면 강도가 증가하고 단면감소율이 감소하는



(그림 18) 신선시 다이스 출구의 강선온도



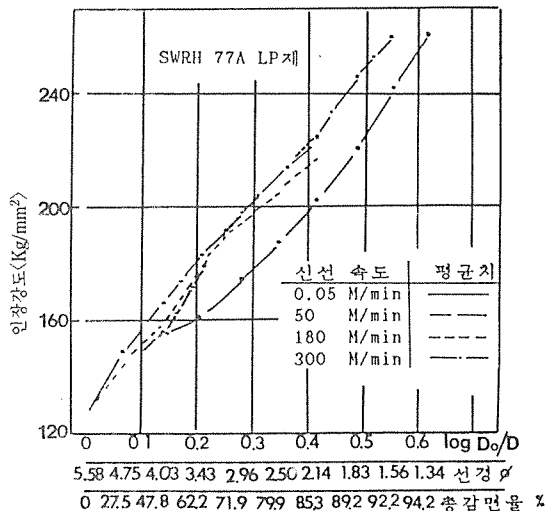
시험재 : 72A  
 전처리 : 인산염 피막처리  
 다이스 각 : 14<approach>  
 윤활제 : NK4  
 측정기기 : 적외선 복사 온도계, 접촉 온도계  
 신선기 : 22° 연속선선기

鋼種	化學成分 %×100								
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Sn
72A	73	24	54	2.2	1.8	1	1	3	-

(그림 19) 신선속도와 다이스 입구, 출구 온도와의 관계

경향을 보여주고 있다. 따라서 조업에서는 생산성과 제품특성에 맞는 신선속도를 설정할 필요가 있다.

강선의 변형가공에 소요되는 일의 대부분은 열이고, 따라서 선온도의 상승기구, 강선의 변형에 소요되는 일은 ㉠ 순수변형 ㉡ 내부전단 ㉢ 강선 표면층에서 다이스와 강선 사이의 마찰로 나눌 수 있다. 여기에서 ㉡은 강선의 표면부일수록 크고 ㉢은 강선 표면층에 한정되기 때문에 강선중에 다이스 출구에서의 온도분포는 표면온도가 높고 중심부는 이보다 낮다. 신선속도가 1m/min 정도 이상이 되면 ㉢의 열이 80~90% 정도 강선내에 축적되고 나머지는 다이스에 이행된다. ㉠은 감면율과 강선의 변형강도, ㉡은 다이스각과 강선의 변형강도, ㉢은 마찰계수, 강선의 변형강도 및 다이스 접촉길이×선속의 1/2승에 어느 정도 비례한다. 따라서 다이스각, 선속, 변형강도 및 감면율이 일정하면 선경의 크기만큼 표층부의 온도상승이 커지게 된다. 변형강도의 증가는 ㉠~㉢의 방법으로 온도상승을 가져오고 인장강도가 큰 재료일수록 발열이 커짐을 의미한다. 예컨대 변형저항 110kg/mm<sup>2</sup>, 다이스각



(그림 20) 신선속도와 신선재의 성질 비교

12°, 마찰계수 0.04, 선경 5.27~4.90mm(약 17% 감면) 신선의 경우 온도상승을 계산하면 중심부는 60~90°C, 외주부는 350°C가 된다.

③ 고탄소 강선의 strain 시효기구

강선을 신선할 때의 표면온도는 종종 200°C 이상으로 상승되어 strain 시효에 의한 인장강도 상승과 취화를 가져온다. 이러한 경향은 단부신선보다 연속신선에 있어서 인장강도가 크고, 또한 신선속도가 빠르면 커진다. 이상의 시효취화를 없애든지 감소시킴으로써 연성, 인성이 우수한 강선을 얻을 수 있을 것으로 생각된다(시효 방지).

신선중의 시효는 다이스중에 일어나는 동적 strain 시효와 다이스 후에 일어나는 정적 strain 시효로 구분하고 있는데 여기에서는 정적 strain 시효에 대해서 설명하고자 한다.

○ 정적 strain 시효 : 통상의 신선재인 경강 고탄소강선은 patenting 처리에 의해 미세 pearlite 조직을 가지고 염욕열처리후에는 pearlite lamellar 간격은 약 0.1 $\mu$ m, pearlite 변태온도는 약 600~550°C이고, 평형상태도적으로 C은 층상 세멘타이트로 되고 잔류 수습 ppm 정도의 C원자가 알파 철중에 고용되어 있는 것이다. 그런데 강선이 실온까지 냉각되는 사이에 온도의 저하에 의해 평형 고용 C량이 급속히 감소하는 급속한 냉각에서도 C의 확산거리는 lamellar 간격 정도 이상이 되는 것을 얻기 때문에 거의 열처리 냉각중에 C은 층상 세멘타이트에 탄화물로서 석출된다.

층상간격이 매우 큰 경우 수  $\mu$ m에서는 수냉에 의해 어느 정도 고용 C을 동결시킬 수 있지만, 여기에서 문제가 되는 미세 pearlite 조직의 경우 C은 거의 알파 철중에 고용되지 않는다고 생각해도 좋다. 한편 고탄소강중에 N은 A1, Ti 등의 특히 강고한 질화물 형성원소로 강중에 함유되어 있는 경우에는 pearlite 변태후에도 실온의 알파 철중에 어느 정도 固溶을 얻는다. 세멘타이트중에 함유되어 있는 N이 대단히 적은 것으로 생각

되나 N이 알파 철중의 평형고용도가 C에 비해 특별히 크고 또한 Mn은 0.3% 이상의 공존에 의해 200~300°C 이하의 온도에서 N의 석출(탄질 화물이 되는)은 곤란하다. 신선후의 strain 시효와 C, N에 기인되는 strain 시효는 다음의 3단계로 분류된다.

1단계 : 약 150°C 이하의 온도에서 일어나 알파 철중의 고용침입형 원자(C, N)의 전위중심으로의 이동에 의한 strain 시효이다. 이 활성화 에너지는 약 20,000cal/mol이다.

2단계 : 강 가공시료에서 일어나 150°C이상 240°C 이하에서 진행한다. 인장강도의 증가와 연성이 현저하게 저하하고, 이 단계에서는 강선의 비전기 저항은 시효시간 또는 온도와 함께 증가하고 내부마찰은 감소한다. 이 활성화 에너지는 약 28,000cal/mol이고, lamellar cementite가 일부 분해되어 알파 철중의 전위로 C을 공급하여 전위를 고착하는 과정으로 해석된다.

3단계 : 시간, 온도와 함께 인장강도가 저하하는 소위 과시효과정으로 2단계 종료후에 일어난다. 전위중심에 있어서 C의 응집, 철탄화물의 생성과 성장이 어느 정도 일어나는 것으로 고려되고 있지만, 전자현미경으로 관찰하면 큰 탄화물은 거의 존재하지 않는다. 내부마찰은 C전위에 의해 고착되나 고용 C은 거의 확인되지 않는다. 약 450°C 이상의 온도에서는 전위의 소멸(회복, 재결정)과 lamellar cementite의 구상화가 현저히 되고 이와 더불어 단면감소율은 증가한다.

이상과 같이 C에 의한 정적 strain 시효(가공후의 strain 시효)의 영향은 제2,3단계에서 현저하게 나타나지만, 통상 제1단계에서는 영향이 없다. 그러나 '신선-제2,3단계의 시효-신선'이라는 과정을 경과한 시료는 제1단계의 시효처리에 의한 인장강도 상승과 연성 저하를 일으키지만, 일반적으로 이 효과는 제2단계의 시효에 의한 것과 큰 차이가 없기 때문에 무시하기로 한다.

N의 영향 : free N(철 이외의 질화물 형성원

소로서 화합하지 않는 N)의 증가는 patenting재, 열연재 등의 냉간가공 전의 강선의 연신율, 단면 감소율 등의 연성 및 인성을 저하시킨다. 이 효과는 공석강선에 대해서는 신선에 의한 60% 정도의 총감면율까지는 특히 현저하다. 인장시험 파단면의 관찰에 의하면 free N의 증가는 응력 개 파단면면적의 증가를 초래하고 연성파단면율을 저하시킨다. strain 시효의 관점에서는 N은 특히 상기 제1단계의 시효에 의한 성질 변화를 크게 하고, 제2,3단계에서는 이러한 큰 영향은 없다. 통상의 저온 소둔온도에서 350°C 정도 가열하면 free N이 많은 경우에는 N은 내부마찰로 일부 알파 철중에 固溶하게 된다. 통상 수십 m/min 정도의 선속에서 15~30% 감면율/pass의 신선을 행한후의 신선재의 인장강도는 free N 함유량의 영향보다 신선조건(신선속도, 1회의 감면율 등)에 의해 크게 변화한다.

신선중인 동적 strain 시효의 가능성 : 동적 strain 시효는 소성변형중 합금중에 일어나는 현상으로 소성변형에 관여하는 전위와 용질원자의 상호작용에 의해 일어나는 현상으로서 가공경화율, 인장강도의 증가와 연성이 저하되는 것이 보통이다. 신선 다이스중에 강선이 통과할 때 C 또는 N이 움직여 전위와 상호작용에 의해 보다 미세한 cell size를 얻게 되고 그 결과 보다 큰 강도의 강선을 갖게 된다.

통상 신선작업중 강선의 시효는 다이스중일 때보다는 다이스를 통과한 후 강선온도가 높을 때 진행된다. 따라서 신선작업중에 강선의 온도는 200~300°C에 달하고 시효현상은 N의 유무보다 lamellar cementite의 분해에 의해 생성된 원자상 C의 전위고착으로 생각되고, 이 과정의 개시는 예컨대 180°C에서 20~30sec, 280°C에서 0.1 sec 이내이다. 이 시효는 다이스를 통과한 강선의 온도가 높을 때 진행되는 것으로 생각되고, 이를 신선시에 방지하려면 속도와 냉각의 개념을 고려하지 않으면 안되기 때문에 신선기의 다이스

냉각이나 블록의 크기 등을 고려하여야 한다.

#### (4) 소입열처리의 조건이 미치는 영향

Tire steel cord의 제조공정상 2회에 걸쳐 소입열처리를 시행하는 과정은 신선가공된 선의 가공조직을 연화시키는 과정과 최종 선의 가공성과 최종제품의 강도보증면에서 검토되어야 한다. 따라서 일반적으로 보면 소재의 강종에 따라 열처리 조건을 설정하여야 하는데, 이는 Tire steel cord을 제조하는 회사별 조건이 달리 제시된다.

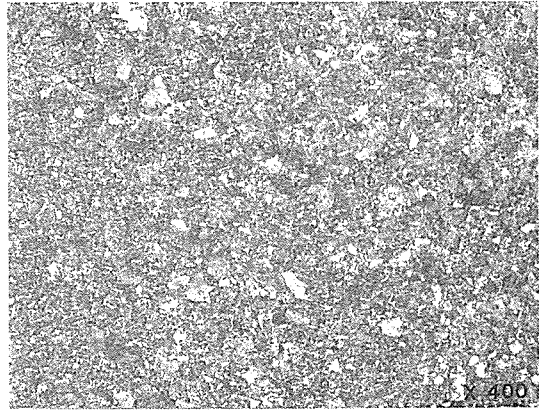
(그림 8)에서 탄소량 0.8% 수준의 항온변태 곡선(Isothermal transformation curve 또는 S곡선, Time-Temperature-Transformation curve, 약하여 T.T.T 곡선)을 보여주고 있는데, 여기에서 변태가 가장 빨리 일어나는 온도 및 시간은 500°C~600°C와 0.8sec~5sec이다. 또한 변태량은 온도에 따라 달라지고 있다. 따라서 Tire steel cord를 제조하고 있는 회사는 강종에 따라, 회사별 선의 속도, 소입열처리의 육조온도, 육조의 길이에 따라 소입열처리의 조건을 설정하여야 하며, 향후 현재보다 고강도 재료를 사용할 때에는 이의 적정조건을 고려하여야 한다.

필자의 연구실에서 이러한 실험을 실시한 결과중 잘못된 양상의 소입열처리 조직을 (그림 21)에 나타냈다. 여기에서 상단 좌측의 사진은 5.5mmφ의 선재를 1차 신선한 가공조직이며, 우측의 사진은 가열온도 980°C에서 가열한 후 580°C의 소입열처리한 연화된 조직이다. 이를 2차 신선 1.6mmφ로 가공한 선의 조직을 하단 좌측에, 그리고 이를 2차소입(가열온도 : 1,000°C, 소입온도 : 579°C)하고 Brass coating한 후 선의 파단이 일어난 조직을 우측에서 보여주고 있다. 이 같은 원인은 중심부에 가벼운 Martensite조직으로 인한 것으로 판명되었다. 이와같은 현상은 상기와 같은 고려하여야 할 조건을 잘못 설정한 결과의 예이다.





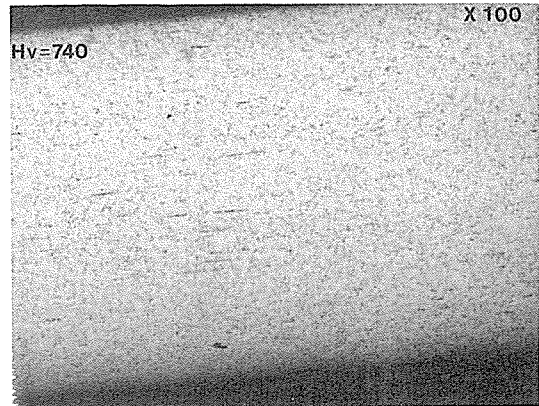
1차 신선(5.5φ-3.07φ, 가공비 : 68%)



1차 소입(980 C X 580 C >



2차 신선(3.07φ-1.60φ, 가공비 : 72%)



2차 소입 + Brass coating후 선의 파단

(그림 21) 소입열처리재의 조직 사진

### 6. Tire steel cord의 향후 동향

- (1) 자동차 경량화에 부응한 고강도 소재개발
- (2) 소재 개발에 따른 소입열처리의 적정조건 설정
- (3) Brass coating과 고무 접착성의 개선
- (4) Tire steel cord의 생산성 향상으로 인한 원가절감

**품질 좋고 값도 싼 우리나라 타이어를  
세계가 알아줍니다.**