이음사의 제직성 평가

1. 서 론

이음매듭은 제직중 경사절단의 한 요인이 되는 것으로 알려져 있다. 이음매듭은 제직중 바디에서 주기적으로 변동하는 장력이나 실의 재밍(jamming)으로 말미암아 미끄러져서 경사절단을 유발할 가능성이 있다. Brown이나 Albert와 Harlen 등은 이음매듭이 그 형태와 품질에 좌우되며, 또한 바디에서 일어나는 미끄러짐이나 재밍 때문에 이음매듭은 20~50%의 경사절단을 유발할 수 있다고 보고하였다. 이러한 결과로 말미암아 끊어진 실의 양 끝을 압축공기식/기계식 수단으로 잇게 하는 이음기술(splicing)의 발전이 이룩될 수 있었다. 일반적으로 볼 때, 이음기술은 실의 제직성을 개선하는데 도움이 되는 것으로 알려져 있다. 그러나 최근에 Kaushik 등은 이음 가운데 일부가 직기의 응력으로 말미암아 제직중에 불량한 상태로 된다고 보고하였다. 따라서 제직 도중에 이음의 성능을 평가하는 것은 흥미로운 일이 될 것이다.

실/이음의 제직성은 그 인장성질과 마모성질에 의해 대부분 결정된다. 이러한 접근방식으로써 본고에서는 제직중에 끊어지려고 하는 이음들을 확인하고자 하는 시도가 이루어졌다.

2. 시료 및 방법

가. 실

시험공장에서 적당히 혼섬한 뒤, 번수(Ne 40)와 꼬임(4.3TM)은 같으나 물성이 서로 다른 두 종류의 소면사로 방적한 것을 시료로 사용하였다. 그 후 공기압축식 이음장치(pneumatic splicer)를 써서 실들의 이음을 행하였다. 두 종류의 실에 대하여 각각 약 300개 정도의 이음을 한 실들을 취하였다.

나. 가 호

이음을 하지 않은 실(이하 표준사라 함)과 이음을 한 실(이하 이음사라 함)에 대해 실험실용 가호기에서 12% 전분 농도하에서 가호하였다.

다. 시 험

단사에 대한 하중-인장 곡선을 인스트론 인장시험기로부터 구하였다. 파지길이는 10cm로 하였고, 실이 절단될 때가지의 시간이 20±2초가 되게끔 인장속도를 조절하였다.

이음사에 대한 제직성은 Reutlinger web tester에 의해 결정되었다. 이 장치는 대부분의 중요한 제직응력, 예를 들어 실의 주기적인 신장, 축방향의 마모, 굽힘, 장력 등을 평가하게끔 되어 있으며 단, 바디침에 의해 실이 받는 힘이나 또한 실의 헝클어짐에 대한 평가는 제외된다. 제직중에 이러한 응력들이 15개의 평행한 실들이 놓여져 있는 면에 동시에 작용하므로 실의 제직성은 최초 10개의 실들이 끊어지는 데 요구되는 제직주기의 평균으로 결정되었다.

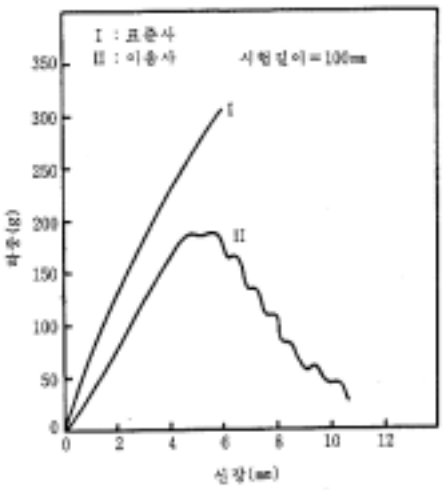
한편 사진기가 부착된 현미경을 사용하여 이음부분을 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 안장 하중-신장 곡선

<그림 1>은 표준사와 이음사에 대한 전형적인 하중-신장 곡선을 나타내고 있는데, 이음사에 대한 하중-신장 거동은 표준사에 대한 그것과는 전적으로 다름을 알 수 있다. 이음사의 경우, 최대 인장하중에 도달한 이후에서 대부분의 이음사들은 명백하게 스틱-슬립(stick-slip)현상을 보이고 있는 반면에 나머지 이음사들은 표준사와 마찬가지로 급격한 절단현상을 보여주고 있다. 이러한 사실로 볼 때 인장하중하에서는 대부분의 이음사들이 표준사와는 달리,

점차적이면서 간헐적으로 느슨해짐을 알 수 있다.



<그림 1> 표준사 및 이음사에 대한 하중-신장 곡선

이음사의 끊어진 양 끝을 자세히 관찰해 보면 이음부분에서 끊어진 실들은 스틱-슬립 현상을 보임을 알 수 있다. 이음부분의 바깥에서 끊어진 약 10%의 이음사들에 대해서는 스틱-슬립 현상을 무시할 수 있었다. 각 하중-신장 곡선들을 비교하여 볼 때, 이음부분의 바깥에서 끊어진 이음사의 강력은 표준사의 강력과 비교할 만하며, 이음부분에서 끊어 이음사의 강력보다는 더 크다는 것을 알 수 있다.

이와 같이 이음부분의 바깥에서 끊어진 이음사의 강력이 이음부분에서 끊어진 이음사의 강력보다 더 큰 이유는 전자의 경우 이음부분은 여전히 실에 대한 영향력이 큰 부분으로 남아 있게 되어 실의 이음부분에서 다소 떨어져 있는 취약점에서 강력보다 더 큰 강력을 갖는 반면에 후자의 경우 취약점이 바로 이음부분 그 자체에 놓여져 있기 때문이다.

이음사를 인장할 때 나타나는 스틱-슬립 현상은 다음과 같이 설명될 수 있다. 이음이란 실의 연속성을 주기 위하여 끊어진 실의 양 끝에 있는 섬유들

을 섞는 공정인데, 이음부분에서 섬유들은 십자로 교차된다. 이와 같이 배열되면 이음부분은 더욱 부풀려 보이며 다소 꼬임도 들어가게 된다. 따라서 이음을 한 실은 충분한 횡방향의 힘을 갖지 못하여 인장하중시 섬유간의 미끄러짐을 막을 수 없다. 결국 이음사에 대한 하중-신장 곡선에서 보면 이음부분에 있는 각 섬유나 섬유군들의 절단 및 미끄러짐에 관한 일련의 단계들이 나타나게 된다<그림 1>.

나. 인장강력 및 신도

서로 다른 실들간에 보다 의미있는 비교를 해보기 위하여 이음사와 표준사에 대하여 평균강력의 비로서, 인장능력 실감치(tensile strength realization value)를 계산하였다. <표 1>에서 보면 이음사의 경우 인장강력과 신도가 떨어짐을 나타내고 있다. 이와 같은 경향은 다른 많은 사람들이 관찰한 것과 유사하지만 인장강력 실감치는 다른 사람들이 관찰한 값보다 더 작다. 이러한 범위의 인장강력에 있어서의 차이는 실의 이음에 대한 인장강력 실감치에 영향을 미치지 않는다. 나아가 <표 1>에서 이음사의 경우, 인장강력과 신도에 대한 변동계수(CV%)가 증가함을 보여 주고 있다.

다. 가호의 영향

가호를 하면 표준사와 이음사 모두에 대한 인장강력은 증가하고 또 신도는 감소하는데, 이는 기대한 바와 같다<표 1>. 원사와 비교할 때 가호사는 보다 큰 인장강력 실감치를 갖는다. 실의 인장강력에 있어서의 차이는 인장강력 실감인자에 영향을 미치지 않는다. <표 1>에서 보면, 실의 품질에 관계없이 가호한 이음사의 경우에는 약 68g의 인장강력 실감치의 증가분이 있고, 가호한 표준사의 경우에는 약 98g의 인장강력 실감치의 증가분이 있음을 알

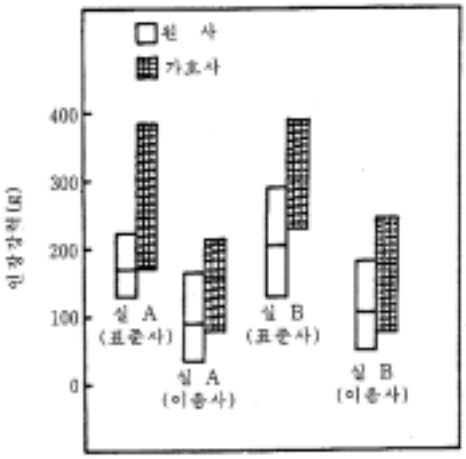
수 있다. 이와 같이 가호했을 때 표준사와 이음사에 대한 인장강력 실감치의 증가분이 서로 차이가 나는 것은 이음사의 구조가 보다 더 불완전한 형태로 되어 있기 때문이라고 생각할 수 있다.

<표 1> 표준사 및 이음사의 인장성질

특 성		실 A		실 B	
		원사	가호사	원사	가호사
인장강력g	N	169	264	205	306
	S	90	159	106	173
인장신도%	N	6.0	3.9	6.1	5.1
	S	5.0	3.5	5.1	3.1
강력CV%	N	10.4	16.0	16.8	11.3
	S	45.0	33.2	30.9	20.9
신도CV%	N	7.8	18.0	12.9	15.2
	S	27.6	31.7	14.7	20.4
가호처리후		0.53	0.60	0.51	0.57
인장강력g	N	–	95	–	101
	S	–	69	–	67

단, N : 표준사(normal yarn)
S : 이음사(spliced yarn)

인장강력의 최소치, 최대치, 그리고 중간치를 나타낸 <그림 2>에서 보면, 원래 실 내부에 약한 부분이 있는 실은 가호를 한다고 하더라도 인장강력이 크게 개선되지는 않음을 알 수 있다. 이음사의 경우에 있어서 보다 강하게 이음을 한 실과 보다 약하게 이음을 한 실을 비교했을 때 보다 약하게 이음을 한 실은 가호시 강력 증가가 매우 작음을 알 수 있다. 따라서 경사절단을 유발하기가 대단히 쉬운 불량한 이음사에 대해서는 가호공정을 거친다 하더라도 충분한 강력의 개선이 이루어지지 않는다.



<그림 2> 가호가 표준사 및 이음사의 인장강력에 미치는 영향

라. 제직시의 마모 저항

표준사 및 이음사에 대한 제직시의 마모저항 값들이 <표 2>에 나타나 있다. 실 A의 경우, 이음된 원사는 너무 약하여 시험할 수 없었다. <표 2>에서 실 B에 대한 결과를 보면, 표준사를 원사로 사용할 때와 가호사로 사용할 때에 비하여 이음사를 원사 및 가호사로 사용할 때 마모저항은 훨씬 감소함을 알 수 있다.

가호사인 경우에, 표준사의 마모저항에 대한 표준사의 마모저항과 이음사의 마모저항의 차이의 비로서 표시된 마모저항 손실률(L%)은 약한 실 A가 51%(평균치)를 나타냄으로써 36%(평균치)를 나타내고 있는 실 B보다 더 큼을 알 수 있다. 그러나 실 A와 실 B 모두에 대하여 실의 절단회수가 증가함에 따라 마모저항 손실률은 감소하는데, 특히 마모저항이 작은 실에 대하여 마모저항 손실률은 크게 나타났다. 가호를 했을 경우, 기대한 대로 실의 마모저항은 증가하였다. 가호에 대한 마모저항의 증가율(%)은 실 B에 있어서 이음사의 경우는 38%, 표준사의 경우는 45%로 나타났다. 마모회수의 최소치, 중간치, 그리고 최대치로서 마모저항을 나타낸 <그림 3>을 보면 마모저항이

약한 실(실 A)의 가호에 의한 마모저항의 개선은 마모저항이 강한 실(실 B)보다 훨씬 작으며, 또한 이음한 실 B보다도 여전히 작다. 이것으로 말미암아, 실 내부의 이음부분과 같이 제직응력으로 인하여 손상되기 쉬운 지극히 약한 요소들에 대해서는 마모를 이겨 내기 위해 가호를 한다고 해도 충분한 강력의 개선이 이루어지지 않는다고 볼 수 있다.

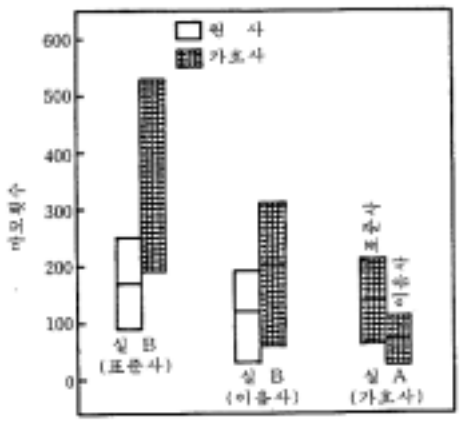
<표 2> 표준사 및 이음사에 대한 제직시의 마모저항

실의 번호	실 A(가호사)			실 B					
				원사			가호사		
	N	S	L%	N	S	L%	N	S	L%
1	76	27	64.5	112	43	61.6	214	106	50.5
2	96	39	59.4	123	69	43.9	257	134	47.9
3	108	47	56.5	143	88	38.5	285	156	45.3
4	118	56	57.4	160	104	35.0	302	179	40.7
5	132	64	51.5	172	119	30.8	309	195	36.9
6	145	72	50.3	184	132	28.3	325	213	34.5
7	157	80	49.0	195	144	26.1	337	230	31.8
8	170	87	48.8	203	159	21.7	349	245	29.8
9	179	95	46.9	212	174	17.9	361	258	28.5
10	191	101	47.4	221	182	17.6	373	271	27.3
평균	137	68	50.8	173	122	29.5	311	198	36.4
E_0	1.32	1.56	—	1.6	2.34	—	1.30	1.42	—
E_{10}	7.92	9.54	—	14.0	21.74	—	10.26	11.28	—
E_p	6.60	7.90	—	12.4	19.4	—	8.96	9.86	—
$E_p/cycle \times 10^{-3}$	34.5	79.0	—	50.0	106.6	—	24.0	36.4	—

N-표준사 ; S-이음사 ; L%-마모저항 손실률

이음을 했을 때 실의 마모저항이 떨어지는 것은 마모기구와 이음구조의 기초 위에서 설명될 수 있다. 마모가 진행되는 동안 주기적인 잡아늘임과 마모로 인하여 실의 구조는 느슨해지며, 따라서 섬유간의 미끄러짐이 촉진된다. 이러한 실 구조의 느슨함이 진전될수록 마모를 수행하는 핀은 더욱 섬유를 문지르게 되며, 결국 섬유의 손실이 유발된다. 또 이러한 섬유 손실은 다시

섬유간의 미끄러짐을 증진시킨다. 따라서 마모가 진행되는 동안 실의 느슨해짐이 발생하여 장력은 감소되려는 경향이 생기게 된다. 한편, 마모장치에서 보면 실은 일정한 장력하에 놓여 있으므로 결국 실은 잡아 당겨지게 되고 섬유들은 인장하에 놓이게 된다. 이러한 부가적인 신장(E_p)은 실의 구조가 느슨해짐으로 말미암아 발생한 섬유간의 미끄러짐에 주로 기인한다. 마모작용은 충분히 많은 섬유들이 다 마모되고 몇 개의 섬유들만 남아 결국 인장강력을 견디지 못하여 실이 완전히 분해될때까지 계속된다.



<그림 3> 가호가 표준사 및 이음사의 마모저항에 미치는 영향

만약 가해진 장력에 의한 초기 신장 값을 E_0라 하고 10번째 섬유의 절단이 일어났을 때 마모장치에 기록된 최종 신장값을 E_{10}이 라고 한다면, $E_p=E_{10}-E_0$가 성립하고 여기서 E_p는 마모가 진행되는 동안에 부가된 신장값이다.

<표 2>에서 보면, 인장의 기준이 되는 모든 인자들 즉, E_0, E_{10}, 그리고 E_p값들에 대하여 이음사에 있어서의 값들이 표준사보다 더 크다는 것을 알 수 있다. 이와 같이 이음사에 대한 인장인자값들이 증가한 이유는 섬유의 충전도가 떨어지고 섬유와 섬유사이의 맞물림이 적어지게 되므로 실 내부의 이음부분에 있어서 섬유간의 마찰력이 저하되었기 때문이다. 이 같은 현상은

결국 이음 내부의 섬유간 결합력을 떨어뜨리는 결과를 초래한다. 따라서 마모가 진행되는 동안 섬유간의 미끄러짐과 섬유들이 문질러져 닳게 되는 것은 섬유의 결합력이 강한 즉, 섬유의 충전도가 좋은 표준사의 경우보다 섬유의 결합력이 약한 이음사의 경우에 더욱 쉽게 일어난다.

마. 실의 제직성

만약 이음사의 인장강력, 신장 및 마모저항에 관한 값들이 표준사의 그 값들이 나타내는 산포 범위에 있거나 또는 약간 높은 범위에 있다면 제직에 있어서 이음사의 성능을 평가한다는 것은 별 문제가 되지 않는다. 제직성이라는 관점에서 볼 때 위의 값들이 낮은 값을 가짐으로 말미암아 경사절단을 유발할 가능성이 있다는 것이 관심의 대상이다. <표 1>에서 보면 이음사의 경우 인장강력과 신도에 대한 변동계수(CV%)가 대단히 증가함을 알 수 있다. 평균 인장강력과 평균 신도가 낮은 값을 가질수록 CV%가 증가하는 것으로 보아서 인장강력, 신도 및 마모저항이 매우 낮은 값을 갖는 실들이 나타나는 도수가 많은 분포도를 이룰 것으로 예상할 수 있다. 인장강력과 마모저항에 관한 도수분포표<표 3 및 표 4>에 의하면, 모든 실에 대하여 이음사의 경우가 훨씬 낮은 도수범위에서 나타남을 명확하게 알 수 있다. 이러한 현상은 강한 실인 B의 경우보다 약한 실인 A의 경우에 보다 심하게 나타난다.

이상의 연구결과로 미루어 보아 이음공정은 인장강력 및 마모저항의 평균치를 감소시킬 뿐만 아니라 제직응력을 견뎌내지 못하는 약한 요소가 실 내부에 나타나는 도수가 많아지게 함을 알 수 있다. 만약 바람직스럽지 못한 제직조건하에서 그와 같은 이음들이 실 내부에 존재한다면, 제직시에 경사절단을 초래할 가능성이 크다. 그러나 고품질의 실인 경우에는 인장강력 실감치는 크게 나타나고, 위와 같은 좋지 못한 이음이 나타나는 도수는 적을 것

이다.

<표 3> 인장강력에 관한 도수분포표

群 區別	실 A				실 B			
	원사		가호사		원사		가호사	
	N	S	N	S	N	S	N	S
50이하	—	6	—	—	—	4	—	—
51-75	—	44	—	—	—	16	—	—
76-100	—	12	—	16	—	38	—	4
101-125	—	20	—	20	—	12	—	6
126-150	18	14	—	12	2	18	—	16
151-175	42	4	2	14	22	6	—	24
176-200	38	—	6	12	18	6	—	30
201-225	2	—	6	12	32	—	—	10
226-250	—	—	26	12	12	—	2	8
251-275	—	—	22	2	12	—	24	2
276-300	—	—	18	—	2	—	18	—
301-325	—	—	16	—	—	—	32	—
326-350	—	—	2	—	—	—	10	—
351이상	—	—	2	—	—	—	14	—
합계	100	100	100	100	100	100	100	100

N-조준사 S-이음사

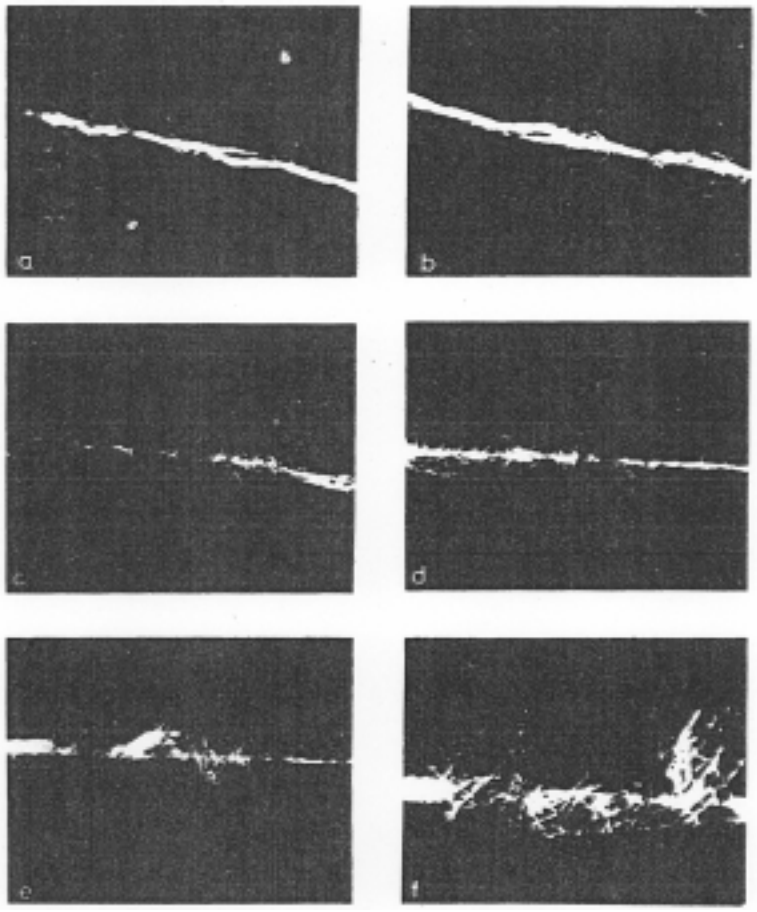
<표 4> 제직시 마모저항에 관한 도수분포표

群 區別	실A(가호사)		실 B			
	N	S	원사		가호사	
			N	S	N	S
50이하	—	30	—	8	—	—
51-75	4	32	—	8	—	2
76-100	16	30	2	18	—	2
101-125	20	8	14	16	—	8
126-150	24	—	14	20	—	14
151-175	14	—	16	18	—	8
176-200	18	—	26	12	6	18
201-225	4	—	24	—	6	12
226-250	—	—	4	—	6	18
251-275	—	—	—	—	20	8
276-300	—	—	—	—	12	8
301-325	—	—	—	—	12	2
326-350	—	—	—	—	6	—
351이상	—	—	—	—	32	—
합계	100	100	100	100	100	100

N-조준사 S-이음사

바. 이음의 현미경적 관찰

이음부분을 현미경으로 관찰하여 보면, 끊어진 실의 양단에서 적당히 개섬되는 것이 만족스러운 이음을 하기 위한 중요한 선행조건임을 알 수 있다. 실의 양단에서 일어나는 개섬이 적절하지 못하면 끊어진 실의 양단에 있는 섬유들이 잘 혼섬되지 못한 채 실에 꼬임이 들어가게 될 것이다(그림 4a 및 4b).

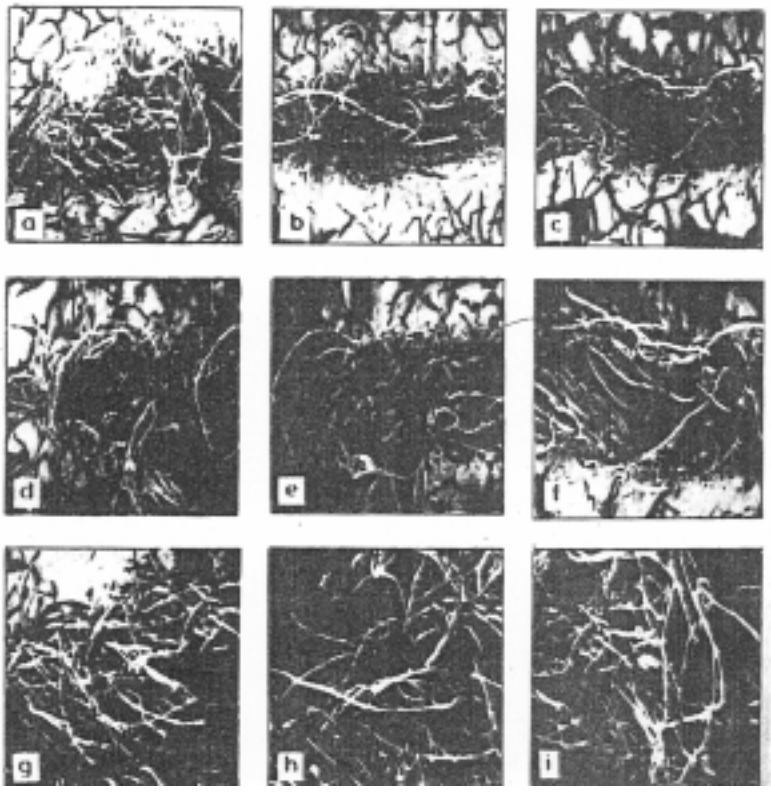


<그림 4> 결함을 보이고 있는 이음의 현미경 사진(×15)

이러한 결과로 말미암아 실의 양단에 있는 섬유들 사이에서 부적당한 마찰이 유발된다. 실이 인장하중하에 놓여질 때 그러한 이음들은 비교적 작은

하중하에서도 쉽게 미끄럼짐이 일어나서 실의 인장강력이 매우 작아지게 된다. 반면에 이음을 누르는 압력이 너무 크다면 결과적으로 터프트(tuft)는 더욱 가늘어지면서 뾰족해지게 되는데, 이것은 무거운 공기류에 의하여 개섬된 터프트의 드래프팅이 일어나기 때문이다. (그림 4c · f)는 실의 양단이 얇은 섬유집합체로 느슨하게 이어져 있음을 보여주고 있다. 실 내부에 그와 같은 약한 연결부분이 존재하면 실의 인장 강력과 마모저항은 현저히 감소된다.

또 어떤 이음들은 배향성이 없이 임의로 배열된 섬유의 커다란 뭉치로 이루어진 독특한 강사구조를 보여주고 있다<그림 5>. 이러한 이음들을 갖는 실이 인장하중하에 놓여지게 되면, 인장강력의 값은 작으면서 섬유의 미끄러짐은 매우 많아짐을 알 수 있었다. 그와 같은 결함이 있는 이음사들은 제직시 경사 절단의 한 원인이 될 수 있었다.



<그림 5> 결함을 보이고 있는 이음의 SEM 사진[a-f(×35), g-I(×70)

4. 결 론

① 이음공정은 실의 강력에 관계없이, 원사나 가호사에 대한 인장강력과 마모저항을 근본적으로 감소시킨다.

② 이음공정은 실의 절단강력, 신도 및 마모저항에 대한 변동계수(C.V%)를 증가시킨다.

③ 인장하중하에서, 이음상태가 좋지 못한 실은 매우 많은 스틱-슬립 현상을 나타낸다.

④ 이음 상태가 좋지 못한 실의 경우, 가호공정을 거친다 하더라도, 실의 인장강력과 마모저항에 대한 충분한 개선은 이루어지지 않는다.