

엘리베이터용 와이어로프의 유효수명 및 교체시기평가

손두익 · 박재석

한국산업안전공단 산업안전보건연구원

1. 서론

2002년 말 현재 약 232,000대의 엘리베이터가 설치되어 있고 승객용이 전체의 85%를 차지하고 있으며, 매년 약 15,000~20,000대씩 증가하고 있다. 엘리베이터 사고는 대부분 사망으로 연결되는 중대사고이며 사회적 물의를 일으키게 된다. 와이어로프는 엘리베이터의 안전운행을 위해 중요한 구성요소중의 하나이므로 파단사고를 막기 위하여 보수업체 등 관리주체에서는 손상정도에 관계없이 일정기간마다 무조건 교체함으로써 자원의 낭비와, 경제적, 환경적 손실을 가져오게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 유효수명과 조기교체에 따른 경제성을 평가하여 교체시기를 분석하였으며 연구대상 엘리베이터의 규격범위는 Table 1과 같다.

Table 1. Study criteria and specification

Description	Scope	Remarks
Service (Use)	Passenger's	Exclude for freight
Speed	60 - 420m/min	Incl. Max. high speed
Power source	Wire rope type	Suspension
Max. load	8 - 24 persons	Load 500 - 1600kg
Rope dia.	12 - 18mm	8×S19, Fi(25)
No. of rope	5 - 9 ropes	
Height	5 - 60 Floor	5 - 63 fl.(Incl. highest)
Roping system	Roping factor 1, 2	Incl. compensation cable

2. 수명평가를 위한 이론적 고찰

2.1 로프의 제조신장

새 로프에 최초로 하중을 가하게 되면, 조합된 와이어가 호칭치수의 감소에 상응하는 신장(stretch)이 발생하여 아래로 처지게 된다. 이 지름감소가 와이어의 길이 초과를 야기 시키며 이들이 헬리컬 꼬임의 길이가 길어지게 함으로서 조화를 이루게 한다. 어떠한 로프의 부분적 신장도 계산에 의하여 정밀하게 결정할 수 없고 탄성 특성도 없다. 제조상의 신장은 Fig. 1과 같이 부분적으로 발생하며 영구적인 신장이다.

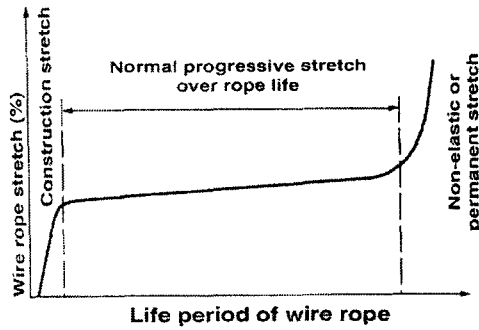


Fig. 1. Stretch characteristics during life of rope

2.2 로프의 손상요인

(1) 단면적 감소(마멸) : 단면적 감소는 표면이 바닥에 접촉하거나, 로프간의 마찰, 시브 등 구동부분과의 접촉에 의해서 발생한다. 또 내부의 마모는 과도한 장력, 윤회불량 소선 표면의 흠결 등에 의하여 발생되고 내, 외부에서의 부식에 의한 단면적 감소는 환경불량이나 윤회불량에 의하여 발생된다. 로프와 도르래 사이에 각도나 마찰에 의한 요인, 가공상의 문제, 도르래 재질의 균질성, 설치상의 문제 등 복합적 요인에 의하여 와이어로프의 마멸이 발생되고, 스트랜드나 가닥선 끼리의 마찰에 의해서도 발생된다.

(2) 단선 : 축방향의 인장하중만이 아니라 도르래를 통과할 때 굽힘, 찌짐, 또는 역굽힘에 의하여 인장과 압축이 반복적으로 작용하여 피로파단을 일으킨다. 도르래의 지름과 로프지름의 비가 작은 경우에 매우 빠르게 파괴가 진행되어 파단된다 그 사례를 Fig. 2에 나타내었다. 로프의 단선은 피로, 노후, 기계적 손상등에 의해서 발생하는 동시에 꼬임이나 다른 여러 가지 손상요인에 의해 일어날 수 있다.

(3) 로프와 도르래 사이의 압력 : 로프의 사용중에 부가적인 굽힘응력이 발생하는데, 도르래 상에서 와이어로프가 도르래 홈과 접촉하는 곳에서 원주압력을 받는다. 이 압력은 와이어 내에서의 응력으로 나누어지고 로프의 형상파괴를 일으켜, 시브홈의 마멸을 증가시킨다.

(4) 로프와 도르래의 경도 : 와이어로프의 경도는 로프의 등급에 따라 HB 400-500 범위로 하도록 API 9A 등에서 규정하고 있으며, 로프 제조회사에서 이 범위를 지키고 있다. 한편 권장하는 도르래의 경도는 HB 250-300 범위 이내로 하여 로프가 쉽게 마멸됨으로 인하여 발생할 수 있는 파단 사고로부터 로프를 보호하고 있다.

(5) 그밖에도 윤회, 형상파괴 등에 의한 요인도 있으나 본 논문에서는 생략하였다.

3. 유효수명평가

3.1 속도별 수명

유효수명은 엘리베이터의 정격속도별 와이어로프의 운행횟수를 추정하여 수명시험 결과 및 실제 운행 횟수와 비교함으로써 알 수 있다. 1회 왕복에 소요되는 시간을 산정



Fig. 2. Broken wire from bending fatigue

함에 있어서 고층용은 대부분 직행으로 운행하기 때문에 최종 목적층에 정차하므로 최저층에서 최고층까지의 운행에 소요되는 시간을 그대로 적용하고, 사무용 빌딩, 아파트 등 저층용과 중층용은 출발층은 일정하고 도착층은 분산되기 때문에 운행층수가 줄고 횟수가 늘어나게 되므로 이를 감안한 정격속도별, 건물 층별 1일 12시간 가동을 기준으로 최대 운행횟수와 1회 운행에 소요되는 시간을 계산하면 Table 2와 같다.

3.2 운행 층고 및 사용기간별 운행횟수

운행횟수는 정격속도에 비례하여 증가하고, 운행 층고에 반비례한다. 속도가 2배로 늘어나면 운행시간이 1/2로 단축되며, 동일 정격속도의 경우 층고가 2배로 늘어나면 운행시간도 같이 늘어나기 때문에 운행횟수가 반으로 줄어들게 된다. 엘리베이터의 운행 횟수 100만회를 기준으로 정격속도별, 사용기간을 그래프로 나타내면 Fig. 3과 같다.

Table 2. Maximum service frequencies per day

Speed m/min	Number of service floor						
	5	10	20	30	40	50	60
60	480	240	120	(80)	(60)		(40)
90	720	360	180	120			
120		480	240	180	120		
180		720	360	240	180		
240			480	360	240	190	
300			600	400	300	240	
360				480	360	290	240
420					420	336	280

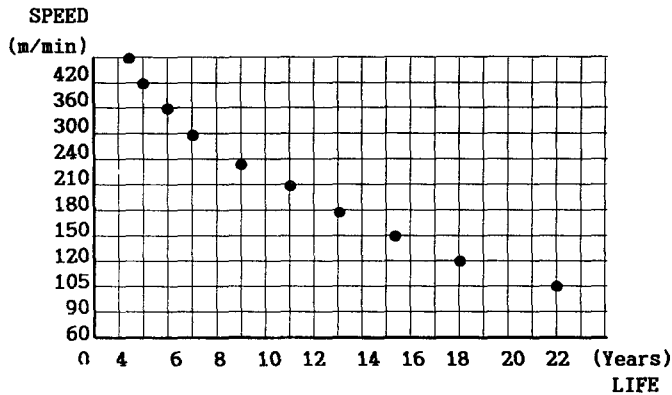


Fig. 3. Diagram of speed - life time

4. 로프교체실태

4.1 사용기간별 로프교체건수

총 유효표본 328개에 대한 사용기간별 로프교체 건수를 분석한 결과는 Table 3과 같으며, 4년마다 교체하는 곳이 98회로서 전체의 30%, 5년마다 교체하는 곳이 84회로서 전체의 약 26%로 나타났으며, 전체의 75% 이상이 3-5년마다 교체하는 것으로 나타났다. 반면 7년 이상 사용한 후 교체하는 경우도 5% 이상 되었다.

4.2 엘리베이터 속도별, 운행 층고별 분석

정격속도와 로프의 유효수명은 반비례하는 것이 Fig. 3의 이론수명 추정에서 증명되었다. 그러나 속도별 로프교체기간 분석결과는 Fig. 4와 같이 일정한 경향이 없었다.

운행 층고에 따른 로프 수명도 속도와 마찬가지로 층고가 증가하면 유효수명이 길어지는 경향이 나타나는 것이 이론적으로 타당하다. 그러나 아무런 연관성이 없는 것으로 분석되었다. 운행 층고별 분석결과 동일속도인 경우에는 운행 층고의 증가에 따라 로프 수명이 늘어가는 것이 원칙이나 뚜렷한 변화를 찾기 어려웠다. 이를 다시 각 층별-운행속도별로 구분하여 분석한 결과에서도 일정한 경향을 찾을 수 없었다.

Table 3. Number of replace by each period

Period (month)	NOR	Ratio(%)
1 Year (- 18)	1	0.3
2 (19 - 30)	22	6.7
3 (31 - 42)	61	18.6
4 (43 - 54)	98	30.0
5 (55 - 66)	84	25.6
6 (67 - 78)	45	13.7
7 (79 - 90)	12	3.6
8 (91 -)	5	1.5
Total	328	100

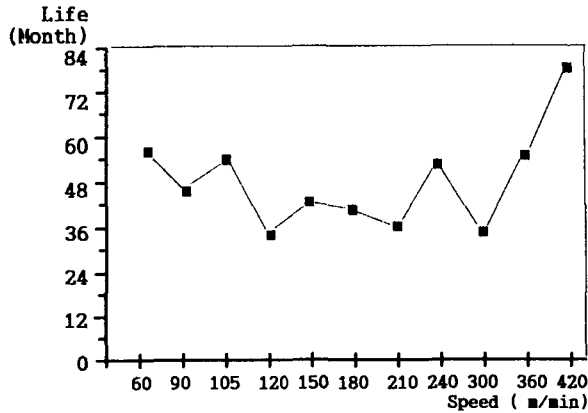


Fig. 4. Service life of wire ropes by nominal speeds

5. 평가 결과

5.1 유효수명

모든 엘리베이터의 와이어로프 교체가 운행속도, 운행층고, 운행시간 등 상이한 운전 조건에 따른 과학적인 교체기준이나 유효수명의 정확한 판단이 없이 일정한 기간이 경과하면 무조건 교체하는 사실이 밝혀졌다. 그러나 와이어로프의 유효수명은 가동효율, 속도, 층고 등 운행조건에 따라 반드시 차등 적용되어야 할 것이다. 즉 속도 90m/min 을 기준으로 하였을 때 운행층고 10층 빌딩에서 10년을 사용한 후 교체한다면 5층 건물은 5년마다, 20층 건물은 20년마다 교체하는 것이 정상이며, 60층 빌딩에 설치된 속도 420m/min 직행 엘리베이터의 로프교체 주기가 5년이라면, 완행으로 전 층을 운행하는 속도 105m/min 엘리베이터는 20년 동안 사용할 수 있다는 결론이 된다.

5.2 경제성

가장 많이 보급된 운행속도 90m/min, 건물 층고 20층인 경우 이론수명은 14년이나 실제 사용기간은 4.6년으로 실 수명의 1/3밖에 사용하지 않음으로서 로프교체로 인한 소비자의 비용부담이 늘어나게 된다. 엘리베이터 1대당 로프 교체비용을 평균 4,000,000 원(20층 기준)으로 계산하면 6,000억 원(년간 1,200억 원)에 해당하는 추가부담이 발생된다. 또한 폐기된 로프의 용해과정에서의 연료소모와 환경오염 부담 비용등을 감안하면 보다 과학적으로 적정 교체시기를 예측, 판단하는 연구가 필요하다.

6. 결론

와이어로프의 유효수명 평가를 위한 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 엘리베이터 와이어로프는 운행조건외 고려 없이 평균 약 5년 사용 후 교체하고있다.

2. 운전부하 즉, 가동효율에 따른 유효수명의 차이는 없었으며, 운행 층고와 운행속도에 따른 교체주기의 차등관리도 되지 않는 것으로 나타났다.
3. 가장 오래 사용한 것이 속도 420m/min, 운행층고 60층에서 8년(96개월)으로 조사되었으며 이를 기준으로 환산한 유효운행횟수는 600,000회 이상인 것으로 나타났다.
4. 가장 보편적인 20층 건물, 운행속도 90m/min, 일일 12시간 운행의 경우를 기준으로 하였을 때 와이어로프의 유효수명은 14년으로, 효과적인 정비를 하면 현재보다 약 3배 이상 오래 사용이 가능한 것으로 나타났다.
5. 엘리베이터는 층고, 속도 등 사용조건에 따라 유효수명을 등급 별로 분류하여 관리하고 이를 감안한 로프교체가 필요하다.

참고문헌

1. Lubomir Janovsky, Elevator Mechanical Design 3rd Edition, Elevator World. pp. 42~43, 1999
2. K.K. Schrems, Wear related fatigue in wire rope failure, International Journal of Fatigue, Vol. 18, No. 4, pp. 275, 1999
3. BRIDON, Tech. information, Bridon International, pp. 85~94, 2001
4. ANSI/ASME A 17.1, Safety Codes for Elevators and Escalators, 1997
5. Roland Verreet, Wire rope inspection and examination, Casar Draht-seilwerk Saar GmbH, 2001
6. 손두익, 엘리베이터용 와이어로프의 파단사고 사례분석-오이도역 휠체어리프트 추락 사고, 안전보건, 한국산업안전공단, 2001. 6, pp 60-63
7. 손두익, 김정우, 승강기공학, 세화, pp. 172~183, 1998