

조경용 사다리의 전도 안정성 평가

이기열*, 박세영**, 나희홍***

*전남대학교 조경학과 부교수, **전남대학교 조경학과 석사과정, ***전남대학교 조경학과 학부생

1. 서론

최근 3년간 조경용 사다리를 포함한 이동식 사다리 관련 사고사망자가 143명 발생하였으며, 업종별로는 조경 등 건설업과 시설관리업에서 106명으로 약 74%를 차지하고 있다. 이와 같은 사고의 대부분은 위험한 작업환경에서 무리한 작업과 전도 또는 미끄럼 방지 조치를 실시하지 않는 등 적절한 안전 조치가 이루어지지 않음으로 인하여 발생하고 있다. 특히 2019년 정부(고용노동부)에서는 산업안전보건기준에 관한 규칙에 근거하여 사망재해가 높은 A형 및 조경용 발붙임 사다리에 대해서 작업발판으로 사용을 금지하였으며, 이후 현장의 개선 요구에 따라 작업높이별로 일부 작업을 허용하되 3.5m를 초과하는 작업높이에서는 조경용을 포함한 A형 사다리를 작업용으로 사용을 금지하는 이동식 사다리 안전작업지침이 시행 중에 있다. 본 연구는 사다리를 사용하는 다른 업종과 다르게 상대적으로 작업높이가 높은 조경용 사다리가 갖는 위험 요소 중 가장 중요하다고 할 수 있는 전도에 대해서 국내에서 시판 중인 제품을 대상으로 사다리 관련 기준에서 제시하고 있는 규정을 이용하여 전도 안정성에 대한 평가 및 개선방안을 도출하기 위한 기초 연구의 일환이다.

2. 전도 안정성 평가 규정 및 국내 조경용 사다리 제원

2.1 EN 131-Part 7

유럽연합의 작업발판형 이동식 사다리 관련 기준인 EN 131-Part 7에서는 Figure 1(a)와 같이 전도 안정성 평가를 위한 작업하중 750N을 사다리 내 작업발판의 중앙에 재하하고, 전도를 유발시키는 수평하중을 작업발판의 크기 및 작업환경에 따라 300N 또는 450N을 작업발판 면에 수평으로 작용시켜서 전도 안정성을 평가하도록 규정하고 있다.

2.2 ANSI-ASC A14.7

미국의 자립형 이동식 사다리 관련 기준인 ANSI-ASC A14.7에서는 Figure 1(b)와 같이 전도 안정성 평가를 위한 작업하중 900N을 디딤대 최상단 또는 작업발판의 중앙에 재하하고, 전도를 유발시키는 수평하중을 전도가 발생할 수 있는 전면, 후면 및 측면 방향에 따라서 110N 또는 100N을 최상단(또는 작업발판 면)에 수평으로 작용시켜서 전도 안정성을 평가하도록 규정하고 있다.

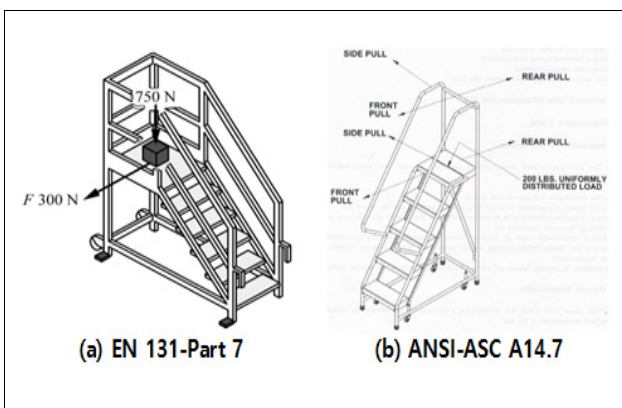


Figure 1. 국외 사다리 관련 기준별 전도 안정성 평가 규정

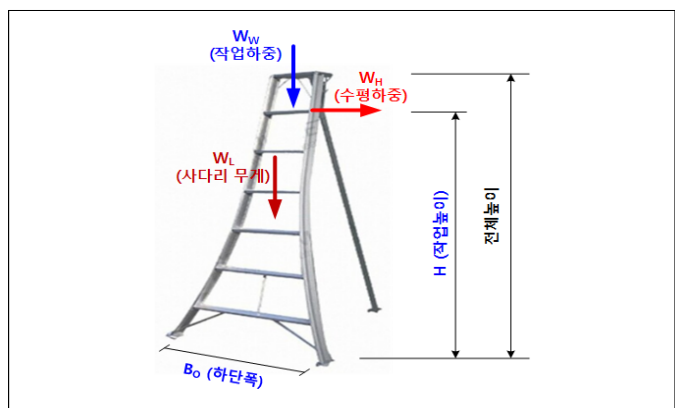


Figure 2. 조경용 사다리의 안정성 평가를 위한 변수

2.3 조경용 사다리 제원 및 국내 제품 현황

조경용 사다리의 전도 안정성 평가를 위한 변수들을 Figure 2에 도해하였으며, 국내에서 판매 중인 제품에 대해서 작업높이(발판 단수)에 따른 제원을 Table 1에 정리하였다. 전도 안정성은 수평하중에 의한 전도모멘트 M_0 와 작업하중 및 사다리 무게에 의해 전도를 방지하는 저항모멘트 M_R 의 비교를 통하여 평가할 수 있으며, 전도 안정성을 확보할 수 있는 소요 무게도 이 관계를 이용하여 계산할 수 있다.

Table 1. 국내 판매 중인 조경용 사다리의 제원 및 모멘트 계산

단수	작업 높이 (cm)	하단폭 (cm)	무게 (kg)	모멘트 (kg · m)				단수	작업 높이 (cm)	하단폭 (cm)	무게 (kg)	모멘트 (kg · m)			
				EN 131		ANSI						EN 131		ANSI	
				M ₀	M _R	M ₀	M _R					M ₀	M _R	M ₀	M _R
3단	110	78	3	33.0	30.4	12.1	36.3	10단	341	147	11.5	102.3	63.6	37.5	74.6
4단	141	98	4.48	42.3	38.9	15.5	46.3	11단	374	147	12.8	112.2	64.5	41.1	75.6
5단	172	121	5.77	51.6	48.9	18.9	57.9	12단	411	150	14.85	123.3	67.4	45.2	78.6
6단	208	125	7.06	62.4	51.3	22.9	60.7	13단	440	168	16.5	132	76.9	48.4	89.5
7단	240	125	8.33	72.0	52.1	26.4	61.5	14단	475	168	17.22	142.5	77.5	52.3	90.1
8단	272	125	9.2	81.6	52.6	29.9	62.0	15단	511	168	19.2	153.3	79.1	56.2	91.7
9단	303	145	10.2	90.9	61.8	33.3	72.6	18단	611	168	26.5	183.3	85.3	67.2	97.9
								22단	702	210	41.5	210.6	122.3	77.2	138.1

3. 전도 안정성 평가

전도 모멘트 M₀는 각 기준에서 규정하는 수평하중 W_H와 사다리의 바닥 지지점으로부터 작업자가 위치하는 작업높이 H를 곱하여 $M_0 = W_H \times H$ 로 계산할 수 있고, 저항모멘트 M_R은 작업하중 W_W의 작용 위치 및 사다리 무게 W_L의 무게중심에서 바닥 지지점까지의 거리인 하단폭 B₀의 1/2를 곱하여 $M_R = (W_W + W_L) \times B_0/2$ 로 계산된다. 조경용 사다리의 전도에 대한 안정성은 전도모멘트와 저항모멘트의 비교를 통하여 평가할 수 있는데, M₀가 M_R보다 작으면 안정, 반대로 M₀가 M_R보다 크면 불안정으로 평가된다. 국내에서 판매중인 조경용 사다리에 대해서 각 기준별로 전도 안정성 평가 규정을 적용한 전도모멘트 M₀와 저항모멘트 M_R를 각각 계산하여 Table 1에 함께 정리하고, Figure 3과 Figure 4에 도해하였다. 전도 안정성 평가 결과, EN 131-Part 7 기준을 적용할 경우 국내에서 판매 중인 조경용 사다리는 모든 높이에서 전도에 대한 안정성을 확보하지 못하는 것으로 평가되었고, ANSI-ASC A14.7 기준을 적용할 경우에는 EN 기준과는 반대로 모든 높이에서 전도에 대한 안정성을 확보하는 것으로 평가되었다. 기준에 따른 전도 안정성의 차이가 나는 이유는 각 기준에서 규정하는 작업하중 W_W 및 수평하중 W_H의 크기가 서로 다르기 때문이며, 현실적인 작업 조건을 고려하면 작업하중 W_W는 ANSI 기준인 900N, 수평하중 W_H는 EN 기준인 300N을 각각 적용하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

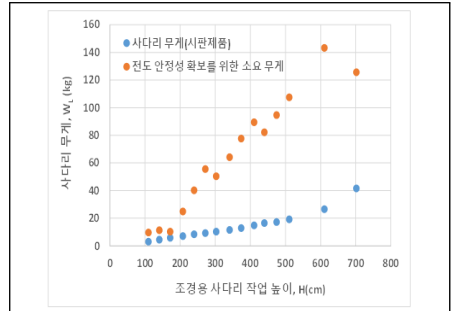
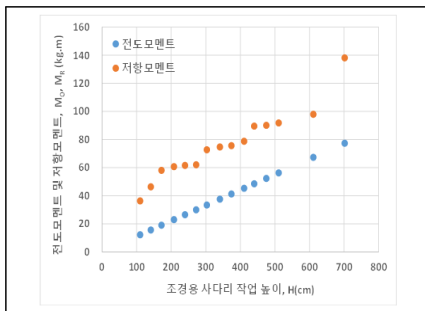
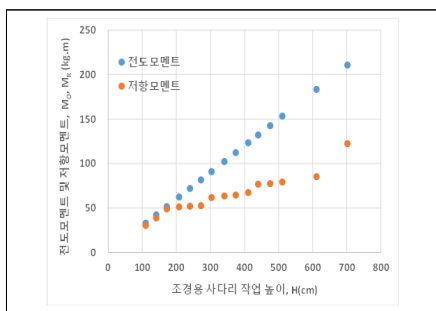


Figure 3. EN 131-Part 7에 의한 안정성 평가 Figure 4. ANSI-ASC A14.7에 의한 안정성 평가 Figure 5. 전도 안정성 확보를 위한 소요 무게

또한, EN 131-Part 7의 규정을 적용하는데 따른 전도에 대한 안정성을 확보하기 위한 일차적인 방법으로는 사다리의 무게를 증가시키는 방법이 적용 가능하다. 이에 따른 조경용 사다리의 소요 무게 WL은 전도 및 저항 모멘트 식을 이용하여 다음과 같은 식으로 계산할 수 있다.

$$W_L > \frac{2H \times W_H}{B_0} - W_W \tag{1}$$

식 (1)로부터 전도 안정성을 확보할 수 있는 조경용 사다리의 작업 높이별 소요 무게를 계산한 결과를 Figure 5에 도해하였다. 이 그림에 따르면 작업 높이에 따라 조경용 사다리의 무게가 9.6kg에서 125.6kg 이상 확보되어야만 전도에 대한 안정성을 확보할 수 있으며, 이는 현재 판매 중인 사다리의 무게를 기준으로 약 3배 이상 증가시켜야 함을 의미한다.

참고문헌

1. American Ladder Institute. "American National Standard Safety Requirements for Mobile Ladder Stands and Mobile Ladder Stand Platforms(ANSI-ASC A14.7)". ANSI, 2012.
2. European Committee Standardization. "Ladder - Part 7: Mobile ladders with platform(EN 131-7)". CEN, 2013.
3. 사다리백화점. <http://www.ladder-shop.com>