

계단규격에 대한 생리학적 평가

A Physiological Assessment of Stair Dimensions

명 노 해, 이 순 요, 김 형 범

고려대학교 공과대학 산업공학과

ABSTRACT

Biomechanical and psychological approaches have provided the optimum stair dimensions but physiological approach has never been used in assessing the common method of assessing the optimum stair dimension. Therefore, this study was conducted to investigate the validity of the physiological measure of heart rate in assessing the optimum stair dimensions. Sixteen subjects were asked to walk up three different stairs with their normal walking speed. The results showed that the physiological approach with the heart rate difference was found to be valid in assessing the optimum stair dimension. The optimum stair dimension from this study (riser length for 185 mm and tread length for 310 mm) was chosen because it was similar to the optimum dimension by the psychological approach (Irvine et al., 1990).

1. 서론

현대 생활에 있어서 계단은 건물을 오르내리는데 매우 편리하게 사용되어져 왔다. 서구 여러 나라들과 비교해 볼 때 넓지 않은 우리 국토를 효율적으로 이용하기 위해서 우리들은 건물들을 높게 올릴 수 밖에 없고 그럼으로써 계단을 더욱 많이 사용할 수 밖에 없다. 또한, 비록 승강기가 설치되어 있는 건물일지라도 전기절약의 이유로 이 삼층을 오르내릴 때에는 계단을 사용하게끔 만들어 놓은 건물들도 많다. 이렇게 우리는 계단을 많이 사용함으로써 계단과 너무 친숙해졌기 때문에 계단이 갖고있는 본질적인 위험성을 망각하며 살아가고 있는 것 또한 사실이다.

Grossman(1991)의 연구결과에 의하면 1989년 819,000명 이상의 사람들이 계단에서의 떨어짐 때문에 응급치료를 받았고 Archea et al. (1979)의 결과에 의하면 2,222개의 계단을 사용할 때마다 한번 정도 계단에서의 헛디딤을 발견했다. 또한, Pauls(1984)는 미국에서 계단에 연관된 사고에 들어가는 일년 동안의 여러 비용(보험처리비용, 의료비용, 임금상실비용)이 매년 새로운 계단을 만드는 비용과 맞먹는다는 연구결과를 보여준다.

Jackson et al. (1995)은 이러한 계단에 관련된 사고들을 분석한 결과 그 이유로 계단의 특성, 계단의 규격, 그리고 개인의 차이를 꼽고 있다. 계단의 특성은 위치(내부 또는 외부, 거주용 또는 공공용), 구조특성(단높이의 수, 표면재질, 난간), 그리고 외부환경요인(불순물의 유무, 조명)을 포함한다. 계단규격은 단높이(riser)와 단나비(tread)의 치수, 난간의 규격, 계단나비, 조명기구, 그리고 가능하다면 계단표면의 미끄럼계수를 말한다. 개인차이는 나이, 성별, 신발의 종류, 그리고 신장과 몸무게를 말한다.

이러한 특성 중 계단규격에 대한 인간공학적 연구들이 계단과 관련된 사고들을 줄이기 위하여 중점적으로 연구되어져 왔다. Corlett et al. (1972)은 생리학적 변수(산소소모량, 심박수 차이)들로서 계단이나 경사로에서 어느 높이에서 계단참(stair landing pace)을 설치해야 하는가를 연구한 결과 일반적으로 사용되는 계단규격에 대한 평가(단높이와 단나비의 치수)방법은 계단참을 설치하는데 있어 유효한 방법이 아니라는 것을 발견하였다. Mital et al. (1987)은 인체역학을 이용하여 계단을 오르는데 최적의 단높이와 단나비의 규격을 조사한 결과 102 mm의 단나비와 305 mm의 단높이가 발목, 무릎, 그리고 둔부의 운동을 최소화한다는 것을 발견하였다. Irvine et al. (1990)의 연구는 인체심리학적 방법을 이용하여 18개의 계단 중 피실험자들의 선호도와 만족도를 기준으로 최적의 단높이와 단나비의 규격을 조사하였고 그 결과로 183 mm의 단높이와 279 또는 300 mm의 단나비가 최적으로 판정되었다.

이렇듯 인체역학과 인체심리학에 의한 최적의 계단규격이 한국규격과 어떠한 차이가 있나

를 알아보기 위하여 한국규격을 알아 보는 것이 중요하다. 전경호(1993) 등의 건축법규해설집에 의하면 단높이는 180 mm 이하이어야 하고 단나비는 260 mm 이상이어야 한다고 한다. 인체역학과 인체심리학에 의한 단높이(300 mm 그리고 305 mm)는 한국규격에 포함되어 있지만 한국규격이 너무 짧게 설정되었고 인체역학과 인체심리학에 의한 단나비(102 mm 그리고 183 mm)는 그 자체로도 많은 차이가 있을 뿐 아니라 한국규격에도 어긋나든지(183 mm) 아니면 너무 짧게(102 mm) 설정되었다.

지금까지 최적의 계단규격을 설정하는 데 있어서 인체역학과 인체심리학이 이용되었으며 생리학적 방법은 계단규격을 설정하는데에는 직접적으로 사용되지 않았다. 하지만 생리학적 방법이 계단이나 경사로에서 어느 높이에서 계단참을 설치하여야 하는가에 사용된 것을 볼 때 계단규격을 조사하는데 충분히 사용되어질 수 있을 것이다. 그러므로 이 연구에서는 심박수차이를 이용한 생리학적 방법이 최적의 계단규격을 비교학적으로 밝혀낼 수 있는지 조사해 봤다. 또한 최적의 규격이 밝혀졌을 경우 인체역학과 인체심리학적 방법으로 설정된 규격들과는 어떤 관계가 있는지도 조사하였다.

2. 연구 방법

2.1 피실험자

총 16명의 피실험자가 본 연구에 참여하였다. 피실험자들의 나이는 21살부터 26살로 평균 23.2(± 1.5)살이다. 평균신장과 몸무게는 각각 173.9(± 1.5)cm이고 66.2(± 1.5)kg 이다.

2.2 실험장비

심박수를 측정하기 위하여 Polar Vantage XL 심박계를 사용하였다. 이 심박계로는 작업 강도의 조절, 시간계측, 정교한 트랙킹, 그리고 시간의 변화에 따른 자료의 분석과 저장이 가능하다. 심박수의 기록에 있어서 5, 15, 60 초 단위 시간당 기록이 가능하고 본 실험에서는 5초 단위 시간당 심박수의 기록을 이용하였다.

2.3 통계학적 분석방법

본 실험의 통계학적 분석을 위하여 일원배치분산분석(One-way ANOVA)을 사용하였고 인자의 수준을 변별하는 방법으로는 Student-Newman-Keul (SNK) 다중비교방식을 이용하였다.

본 실험의 독립변수로는 세 개의 서로 다른 계단이 사용되었다. 이 계단들은 고려대학교 공대본관, 공대서관, 그리고 공대도서관에 있는 것들로 그 규격은 다음과 같다.

- 1) 본관 - 단나비 325 mm와 단높이 135 mm, 단높이각도 22°.
- 2) 서관 - 단나비 295 mm와 단높이 145 mm, 단높이각도 26°.
- 3) 도서관 - 단나비 310 mm와 단높이 185 mm, 단높이각도 30°.

한국규격과 비교할 때 본관과 서관의 계단은 규격에 포함되지만 도서관계단의 단높이는 5 mm 긴 것으로 판정되었다.

종속변수로는 Corlett et al. (1972)과 마찬가지로 심박수의 차(HRD: beats/min)를 이용하였고 또한 종료시간(TIME: Second)과 Borg(1962)의 RPE (Ratings of perceived exertions)를 사용하였다. RPE 스케일은 6 부터 20 까지로 심박수의 10분의 1 값의 관계를 나타낸다.

2.4 실험절차

본 실험전에 모든 피실험자는 각 개인의 평균도보속도에 익숙할 수 있도록 계단을 오르내릴 수 있는 충분한 시간을 가졌다. 평균도보속도를 이용했던 이유는 Corlett and Mahadeva(1970)가 말했듯이 평균도보속도가 최소한의 산소소비량을 요구하기 때문이다. 그 후에 각 피실험자는 세 개의 다른 계단을 랜덤하게 각자의 평균도보속도로 오르는 데 각각의 계단규격이 다름에도 불구하고 동일한 높이(8.8 m)를 오르게 되었다. 다시 말해서 본관에서는 65개의 계단을, 서관에서는 61개의 계단을, 그리고 도서관에서는 47개의 계단을 올랐다. 계단을 오를 때 계단참에 의한 거리오차를 최소한으로 줄이기 위하여 각 피실험자는 난간에 가장 가깝게 걸어 올라갔고 각 실험이 끝난 후에 최소한 30분의 휴식시간을 주어 각 피실험자가 다음 실험에 임하는 데 동일한 생리학적 상태(resting heart rate)를 가지고 실험에 임할 수 있도록 하였다. 각 실험이 끝났을 때 피실험자는 RPE 스케일을 실험진행자에게 말하는 것으로 각 실험은 종료되었다.

3. 연구결과

표 1은 종속변수에 대한 분산분석의 결과를 요약하였다. Borg의 RPE는유의 수준 0.05로 볼 때 p-value의 값이 0.05 보다 크기 때문에 계단규격의 차이를 분별할 수 없는 것으로 나타났다. 나머지 두개의 종속변수는 계단규격의 차이를 분별할 수 있는 것으로 나타났다.

표 1. 분산분석의 결과

Dependent Variable	p-value
HRD	0.0199
TIME	0.0001
RPE	0.3017

이러한 유의한 차이는 SNK 다중비교방식을 이용하여 인자 내의 집단간 평균차이를 계산하여 어떠한 계단이 최적인가를 알려준다. 표 2는 SNK 다중비교방식에 의한 각 인자내 집단의 평균치와 각 집단간 평균차이가 유의한 가를 나타내는 문자(SNK 그룹)로 이루어져 있다. 다시 말해서 다른 문자를 가진 집단은 각 집단의 평균치가 유의하게 다르다는 것을 의미한다. 같은 문자로 연결된 집단간에는 평균치가 동일하지 않을 지라도 통계학적으로 볼 때 평균치간에 차이가 없는 것으로 간주한다.

표 2. 각 계단의 평균치와 SNK 그룹

	HRD		TIME		RPE	
	Mean	SNK	Mean	SNK	Mean	SNK
본관	43.3	A	50.6	A	12.8	A
서관	39.1	AB	43.5	B	12.6	A
도서관	32.4	B	31.8	C	11.9	A

표 1에서 RPE가 유의한 차이를 보이지 않았듯이 표 2에서도 모든 계단이 같은 그룹에 포함되었다. 전에 설명한 심박수와 RPE의 관계에 의하면 각 RPE 스케일이 얼마만한 작업부하를 나타내는지 알 수 있다(Grandjean, 1988). 단높이 각도 22°의 계단(본관)과 단높이 각도 26°의 계단(서관)의 심박수를 RPE의 10배 정도로 하였을 때 이 둘의 계단을 8.8 m 오르는 작업은 높은 작업부하(High work load)이고 단높이 각도 30°의 계단(도서관)의 경우는 중간작업부하(Medium work load)이다. 다시 말해서 8.8 m의 계단을 오르는 것이 쉬운 작업이 아니기 때문에 Archea et al. (1979)가 조사했듯이 계단에서의 헛디딤이 실수 때문 만이 아니라는 것을 미루어 짐작 할 수 있다.

또 하나의 종속변수인 시간(TIME)에 대한 계단규격의 차이를 보면 각 계단이 각각의 그룹을 형성하고 있는데 이는 각 계단을 오르는 평균시간이 유의하게 다르다는 것을 의미한다. 이 시간을 전체계단의 높이로 나누게 되면 평균도보속력이 나오게 되고 각 계단을 오르는 평균속도는 단높이각도 22°의 계단에서는 0.17 m/sec, 단높이각도 26°의 계단에서는 0.2 m/sec, 그리고 단높이각도 30°의 계단에서는 0.28 m/sec가 된다. 즉 계단을 오르는 시간은 계단의 규격보다는 계단의 수에 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 다시 말해서 피실험자들은 각각의 계단을 오를 때 평균도보속도를 유지함으로써 계단의 수가 많을수록 같은 높이에 도달하는 시간이 더 많이 걸린다는 것이다. 그러므로 계단의 규격을 조사하는데 있어서 전체 오르는 높이가 일정할 때 시간은 적절한 변수라 할 수 없다.

마지막 종속변수인 심박수의 차는 집단간의 평균치가 두개의 서로 다른 그룹으로 이루어져 있다. 단높이각도 22°의 계단과 단높이각도 26°의 계단이 A 그룹으로 그리고 단높이각도 26°의 계단과 단높이각도 30°의 계단이 B 그룹에 속해 있다. 즉 단높이각도 22°의 계단과 단높이각도 30°의 계단을 오르는 데에는 유의한 심박수의 차이가 존재한다는 사실이다. 다시 말해서 동일한 높이의 계단을 오르는 데 있어서 단높이각도 30°의 계단이 단높이각도 22°의 계단 보다는 심박수

에 따른 생리학적 부담이 적다는 것을 의미한다. 하지만 단높이 각도 30°의 계단과 단높이 각도 26°의 계단은 유의한 심박수의 차이를 보여주지 않는다. 즉 본 실험의 마지막 종속변수인 심박수의 차이에 의한 생리학적 방법은 각 계단규격에 따라 유의한 심박수의 차이를 두 개의 그룹으로 나타냄으로써 Corlett et al. (1972)의 계단참 설치위치를 결정하는데 생리학적 방법이 유효하지 않다는 결과와는 달리 최적의 계단규격을 조사하는데 있어서는 유효한 방법이라는 것이 판명되었다.

이 결과를 Irvine et al. (1990)의 인체심리학적 방법에 의한 결과와 비교해 볼 때 단높이 각도 30°의 계단(단나비 310 mm 와 단높이 185 mm)이 Irvine et al.의 인체심리학적 방법에 의하여 최적인 계단규격(단나비 300 mm 와 단높이 183 mm)과 유사함을 볼 수 있다. 단높이각도 30° 계단과 단높이각도 26°의 계단이 심박수의 차이에 있어서 유의한 차이가 없을지라도 단높이각도 30°의 계단이 인체심리학적 방법에 의한 최적의 계단규격과 유사하기 때문에 단높이각도 30°의 계단이 생리학적 관점에 있어서 최적으로, 인체심리학적 방법에 의한 최적의 계단규격과 견줄 만 하다고 비교학적 관점에서 말할 수 있다.

4. 결론

본 실험의 결과로서 심박수의 차이에 의한 생리학적 방법이 최적의 계단규격을 연구하는데 일정한 경향을 보여줌으로서 유효한 방법이라는 사실이 판명되었다. 이러한 경향을 토대로 좀 더 명백한 결과를 보여 주기 위해서 차제에 충분한 피실험자와 여러개의 계단규격을 이용하여 좀 더 광범위한 실험을 행한다면 최적의 계단규격을 생리학적 방법으로 결정할 수 있을 것이다. 그리고 본 실험 결과를 Irvine et al.의 인체심리학적 방법에 의하여 최적인 계단규격(단나비 300 mm 와 단높이 183 mm)과 비교해 볼 때 단높이각도 30°의 계단(단나비 310 mm 와 단높이 185 mm)이 단높이각도 26°의 계단(단나비 295 mm 와 단높이 145 mm)보다 유사하기 때문에 본 실험에 있어서의 비교학적으로 볼 때 본 실험 결과에 의한 최적의 계단규격이 단나비 310 mm와 단높이 185 mm(단높이각도 30°의 계단)라고 할 수 있다.

5. 참고문헌

- Archea, J., Collins, B. L., and Stall, F. I. 1979, Guidelines for stair safety. Washington, D.C.: National Bureau of standards.
- Borg, G. A. V. 1962, Physical Performance and Perceived Exertion. Lund: Gleeerups.
- Corlett, E. N., Hutcheson, C., DeLugan, M. A., and Rogozenski, J. 1972, Ramps or stairs: The choice using physiological and biomechanic criteria. *Applied Ergonomics*, 3.4, 195-201.
- Corlett, E. N., and Mahadeva, K. 1970, A relationship between a freely chosen working pace and energy consumption curves. *Ergonomics*, 13, 4, 517-524.
- Grossman, E. 1991, Easy ways to fall-proof your home. *Family Safety and Health*, Fall, 14-17.
- Grandjean, E. 1988, Fitting the task to the man, 4th ed., Taylor & Francis Ltd.
- Irvine, C. H., Snook, S. H., and Sparshatt, J. H. 1990, Stairway risers and treads: acceptable and preferred dimensions. *Applied Ergonomics*, 21, 3, 215-225.
- Jackson, P. L. and Cohen, H. H. 1995, An in-depth investigation of 40 stairway accidents and the stair safety literature. *Journal of Safety Research*, 26, 3, 151-159.
- Mital, A., Fard, H. F., and Khaledi, H. 1987, A biomechanical evaluation of staircase riser height and tread depth during stair-climbing. *Clinical Biomechanics*, 2, 162-164.
- Pauls, J. L., 1984, Stair safety: Review of research. *Proceedings of the 1984 conference on Occupational Ergonomics*, 171-180.
- 전경배외, 1993, 건축법규해설. 도서출판 세진사.