

계단의 적정치수 계획에 관한 연구

- 계단에서의 안전을 위한 단높이, 단너비, 경사도의 최소치수를 중심으로 -

A Study on the Design of Optimum Dimension of Staircase

.. Focused on the Minimum Dimension of Riser, Tread and Slope for Safety on Staircase -

김용환*

Kim, Yong-Hwan

Abstract

The purpose of this study is to suggest the method of prevention of staircase accidents, and to make housing environment better through researching the dimension of a housing staircase for Korean. The scope and method of this thesis is to investigate the dimension limits of a staircase (slope, minimum width of tread, maximum height of riser), and to analyze the characteristics of foot condition (jutting rate, foot angle, ball joint, nosing clearance, clearance distance) using the experiment which takes a photograph of foot motion during walking stairs. The results of this thesis are as follows. The slope of a staircase in house is 32.3°-42.1°. The riser should be less than 190 mm. The minimum size of tread is 210 mm and proper size is 270 mm.

Keywords : staircase, safety, housing, human motion

주요어 : 계단, 안전, 주택, 인간 동작

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

현재 우리나라는 도시주택의 부족과 택지면적의 협소함에 따라 주거의 중·고층화, 집단화현상으로 계단이 증가하고 있다. 이같이 건축공간에 있어서 상하공간을 연결하는 전형적 수직교통망인 계단은 주로 안전성과 쾌적성을 동시에 요구하고 있다. 그러나 이제까지의 계단에 관한 연구는 쾌적성, 편리성을 대상으로 한 것이 많다. 또한 건축 일상재해 속에서 계단에서의 전락사고가 차지하는 비율은 그 발생빈도, 피해정도 모두가 크다. 따라서 본 논문에서는 계단에서의 사고방지 및 안전성을 확보하기 위해 계단 하강시의 우리나라의 인체조건에 맞는 계단의 적정치수 범위를 실험계단에서의 동작계측을 통해 중

합적으로 고찰하여 합리적인 계단 표준을 제시하는데 그 목적을 두고 있다.

2. 연구의 범위

계단에서의 사고는 계단의 치수조건(단높이, 단너비, 경사도), 계단의 재료, 논슬립의 유·무, 난간의 설치 유·무 등 계단 자체의 조건, 계단을 이용하는 사람의 발의 움직임(인체동작)요소, 계단의 조명, 색채, 장애물 등의 환경조건과 사인, 심불, 계단의 시각적 인지를 위한 디자인요소 등 복합적인 결과로서 사고가 발생한다고 생각된다. 이러한 경우 복합적인 사고 발생요인을 모두 검토하는 것은 현재의 실험으로서는 어렵다고 판단된다. 또한 실험의 대상으로는 공동주택의 경우 주택건설촉진법에서 계단의 치수가 비교적 안전하게 규정되어 있으며 단독주택의 옥외계단은 현재 건축법 규정을 적용받지 못하고 있다. 따라서 본 연구는 단독주택의 일반적 개념의 계단을 대상으로 계단의 경사도, 단높이, 단너비 치수에 대해

*정회원, 충청대학 건축학부 부교수

※본연구는 1999년 충청대학 교내연구비 지원에 의한 결과임.

계단에서의 안전성을 고려하여 계단 하강시의 발의 동작특성을 분석, 우리의 인체치수에 맞는 계단의 적정치수(경사도, 단높이, 단너비 치수)에 대해 고찰했다.

3. 연구의 방법

제2장은 계단에서의 동작을 위한 인간공학적(동작 분석)실험방법인 「화상동작분석」 수법을 고찰하고, 계단 하강시의 인간동작행위를 측정하기 위해 실험 계단과 실험조건, 동작행위 측정방법 및 데이터 처리수법에 대해 고찰했다.

제3장은 계단의 경사도에 따른 계단보행 실험 후, 계단하강시의 보행동작 치수 데이터를 측정하고, 그 결과를 Excel 프로그램을 이용하여 통계처리했다. 그리고 계단사고의 기인요소인 헛디딤, 미끄러짐, 걸려 넘어짐에 관련된 발의 동작특성을 분석하기 위해 측정요소인 접지율, 접지각, 볼조인트 위치, 이격거리, 여유길이에 대해 「화상동작분석」 수법을 이용해 분석했다.

제4장은 계단 하강시의 보행동작 치수의 실험 결과와 분석에 의한 안전을 고려한 계단의 적정 경사각도의 범위, 최대 단높이 범위, 최소 단너비 범위를 고찰하였다.

II. 계단에서의 보행동작 실험

계단 보행시의 인간행동의 특성은 계단에서 발생하는 사고 원인의 큰 부분을 차지할 것으로 생각된다. 따라서 계단의 단높이·단너비 치수의 변화에 따른 인간의 보행동작 특성을 살펴보기 위해 가변형 실험계단을 이용해서 피험자를 승강시켜 계단 하강 동작의 변화를 측정했다.

예비실험은 외부의 영향을 배제할 수 있도록 실내 실험실(층고 5.5 m)에서 실시했으며, 피험자는 실험 내용을 잘 이해하고 있는 건축과 재학생을 대상으로 실시했다.

예비실험 결과 승강속도(정상 보행), 측정용 비디오 카메라의 위치, 볼조인트 위치 확인을 위한 스티커 부착 등의 수정을 거쳐서 본 실험을 실시했다.

1. 실험계단

계단의 단높이·단너비 치수의 변화에 따른 계단

하강동작의 특성을 조사하기 위해 제작된 실험용 계단은 단수 8단, 계단폭 80 cm, 계단의 한 쪽은 측벽으로 다른 한 쪽은 난간을 설치했다. 이 실험계단은 단높이·단너비 치수가 자유자재로 조정되는 가변형으로서 단높이 15~23 cm, 단너비 15~30 cm의 범위까지 임의의 치수로 설정이 가능하도록 제작하였다.

실험계단에 부착된 기어(gear)로 경사도를 조절함으로써 단높이를 조정하고, 단너비는 각 디딤판을 지지하고 있는 channel 사이를 가로방향으로 이동하여 필요한 단너비를 얻을 수 있도록 설계되었다.<사진 1 참조>

2. 실험 조건

1) 피험자

피험자는 건강한 남학생 10명(20~21세), 여학생 10명(20~21세)으로 이들은 큰발과 높은 무게중심으로 인해 계단을 내려갈 때 어려움을 겪을 수 있는 집단이다.

2) 신발

피험자의 신발은 남자는 보통 신발(운동화/구두)를 사용했고, 여자는 힐의 높이에 따라 3 cm인 로우힐과 7 cm인 하이힐을 사용했다.

3) 실험계단 치수

단높이는 최저 150 mm에서 건축법 시행령에서 단독주택의 최대 허용치수인 230 mm까지 40 mm씩 3개의 단계, 단너비는 단독주택의 최소 허용치수인 150 mm에서 지하철의 표준치수인 300 mm까지 60 mm씩 4개의 단계로 설정하여 각 치수의 조합을 편의상 단높이에 따라 A, B, C 3단계, 단너비에 따라 1, 2, 3, 4의 4단계로 구성하여 모두 12단계의 실험용 계단을 조합하였다

4) 하강 속도

본 실험에서 보행속도는 특별한 규제를 하지 않고 각자 사람들의 페이스에 맡김과 동시에 실험전에 모



사진 1. 실험계단 사진

표 1. 실험계단의 치수 (mm)

계단	단높이	단너비	경사도(°)
A1	150	150	45
A2	150	210	39.5
A3	150	270	29.1
A4	150	300	26.6
B1	190	150	51.7
B2	190	210	42.1
B3	190	270	35.1
B4	190	300	32.3
C1	230	150	56.8
C2	230	210	50
C3	230	270	47.04
C4	230	300	37.5

든 피험자들은 각 개인의 평균 보행속도에 익숙하도록 실험 전에 계단을 오르내릴 수 있는 충분한 시간을 가졌다.

5) 하강 동작

계단사고의 원인 및 기인요소에 관한 연구¹⁾에 의하면 계단에서의 승·하강동작에 따른 사고는 전체 사고건수 84건 중 53건(63.1%)이 계단을 내려갈 때 사고가 발생한 것으로 나타났다. 이것은 1988년 Barkow B.의 연구에서 계단을 내려갈 때의 사고가 올라갈 때의 5배 이상²⁾ 발생하는 것으로 조사된 것과 유사한 것으로서 계단에서의 사고는 주로 내려갈 때 사고가 발생하는 것을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 계단을 내려갈 때의 동작에 대해 실험을 실시했다.

3. 화상동작 분석 수법

계단에서 사고를 일으키는 기인요소는 디딤판에서 미끄러짐, 계단코에 걸려 넘어짐, 헛디딤 등 크게 3가지로 나눌 수가 있다. 이러한 것은 모두 사람의 발 움직임을 해석함으로써 사고의 동기를 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 다양한 단높이·단너비의 조합에 따른 계단 하강시 보행동작특성을 살펴보기 위

1) 김용환,이문보, 계단사고의 원인 및 기인요소에 관한 연구, 대한건축학회논문집 제13권 12호, 1997.12.

2) Harkow B, Hay T;Stair accidents under emergency condition, Emergency Preparedness Digest, Vol.15 No.2, 1988.

해 “화상동작분석” 수법을 사용했다.

1) 동작 행동 해석법과 장치

계단 보행동작의 측정장치 및 측정방법은 다음과 같다.

① 계단 보행시의 동작행위를 측정하기 위한 장치는 비디오카메라를 이용했다. 1/5000초의 셔터속도로 촬영하므로써 정확한 동작 화상을 얻을 수 있었다.

② 보행동작을 촬영한 비디오 화상을 디지털 비디오편집 시스템인 miro DC-30 Plus 캡처보드가 장착된 컴퓨터에 전송한 후, 동영상편집프로그램인 Premiere 4.2를 사용하여 1초에 30컷의 정지화상으로 기록했다.<사진 2>

③ 1/30초의 정지화상을 가지고 Photoshop의 Layer 기능을 활용 정지화상을 겹쳐서 계단에서의 연속된 보행동작행위 화상을 만든 후,

④ 멀티미디어 프로그램인 Illustrator 7.0의 Tool Box에 있는 출자 기능을 사용하여 계단에서의 동작행위 데이터인 디딤판 길이, 첩판 높이, 신발 길이, 볼조인트 길이 등을 측정, 실제의 치수로 환산하여 접지율, 볼조인트 위치, 여유길이, 접지각, 이격거리 등을 산정하였다.

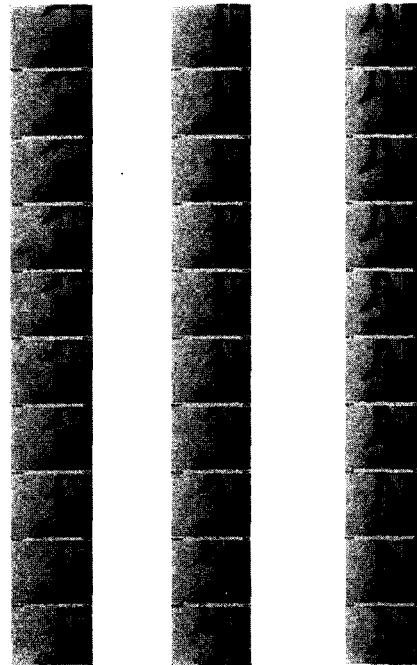


사진2. 계단 하강동작의 화상분석 필름 자료

2) 계측 방법 및 데이터 처리

계단 보행동작의 촬영 위치는 아래에서 4, 5단으로서 정상보행 부분을 대상으로 했다.

데이터의 해석에 있어서는 발과 계단의 치수를 비디오 화상에서 측정한 다음, 실제치수로 환산하여 계단에서의 발의 접지율, 접지각, 볼조인트위치, 계단코에서의 발의 최소 이격거리(최단 통과거리), 철판과 신발 뒷면사이의 여유길이를 계측하였다. 특히, 볼조인트의 위치를 명확하게 하기 위해 볼조인트의 위치를 확인하여 신발에 표시한 후 촬영했다.

4. 계단보행 실험의 동작 측정 요소

계단사고의 기인요소를 분석하기 위해 실험계단에서의 하강동작을 비디오카메라로 촬영한 후 컴퓨터와 연결하여 계단 보행시의 인간동작특성 데이터를 측정하는 「화상동작분석」 수법을 사용하여 다음과 같은 데이터를 측정했다.

- ① 계단 하강시 디딤판에서 신발의 접지비율(접지율): 헛디딤, 미끄러짐에 의한 계단사고에 관련된 데이터
- ② 계단 하강시의 계단 디딤판과 신발면의 각도(접지각): 내려갈 때 일어나는 미끄러짐에 의한 계단사고에 관련된 데이터.
- ③ 발바닥에서 몸무게 중심인 볼조인트의 디딤판에서의 접지위치(Ball joint위치): 헛디딤, 미끄러짐에 의한 계단사고에 관련된 데이터
- ④ 신발과 디딤판 선단부(단코)와의 최단통과거리(이격거리): 계단의 단코에 걸려넘어짐에 의한 계단사고에 관련된 데이터
- ⑤ 계단 하강시 디딤판에 신발을 디뎠을 때 뒷꿈

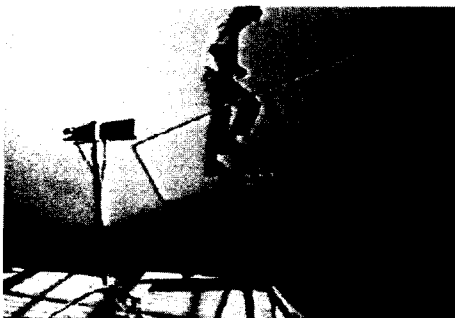


사진 3. 실험계단 보행동작 실험사진

치(앞꿈치)와 철판사이의 거리(여유길이): 걸려 넘어짐에 의한 계단사고에 관련된 데이터

표 2. 계단사고의 기인요소에 따른 동작 측정요소 관련부위 및 연구의 전제

	계단사고 기인요소	관련부위	연구의 전제
접지율	헛디딤 미끄러짐	단너비 경사도	접지율이 커야 헛디딤이나 미끄러짐을 예방할 수 있다.
접지각	미끄러짐	단높이	접지각이 작을수록 미끄러짐을 예방할 수 있다.
볼조인트 위치	헛디딤 미끄러짐	단너비 경사도	볼조인트가 디딤판안에 있어야 헛디딤, 미끄러짐을 예방할 수 있다.
이격거리	걸려 넘어짐	단너비	이격거리가 클수록 접지각이 작을수록 걸려넘어짐을 예방할 수 있다.
여유길이	걸려 넘어짐	단너비 경사도	여유길이가 길수록 뒷꿈치가 걸려 넘어지는 사고를 예방할 수 있다.



사진 4. 접지율 측정 사진

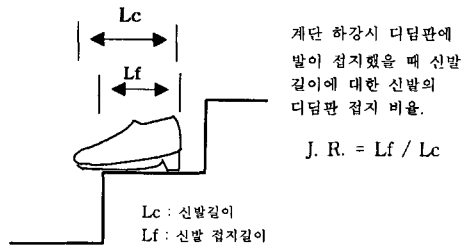


그림 1. 접지율 측정 방법

3) 김용환, 이문보, 계단사고의 원인 및 기인요소에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 제13권 12호, 1997.12.

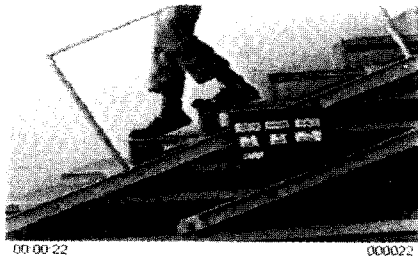


사진 5. 접지각 측정 사진

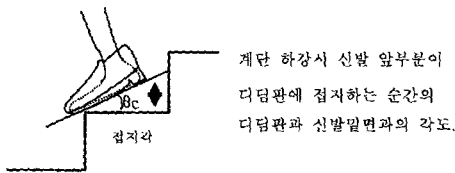


그림 2. 접지각 측정 방법

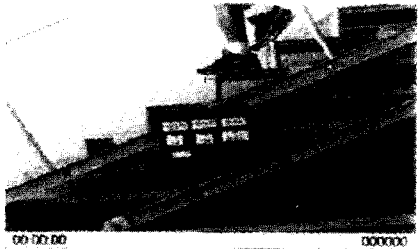


사진 6. 볼조인트 측정 사진

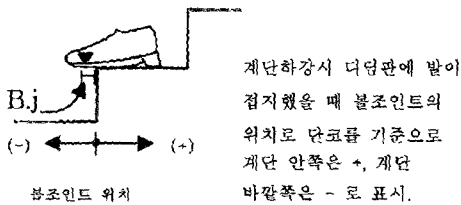


그림 3. 볼조인트 측정 방법

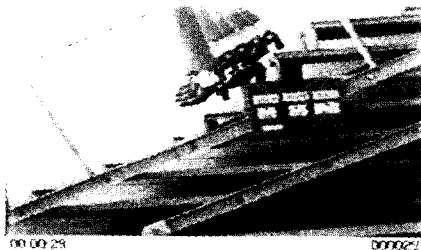


사진 7. 이격거리 측정 사진

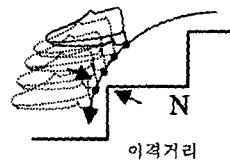


그림 4. 이격거리 측정 방법



사진 8. 여유길이 측정 사진

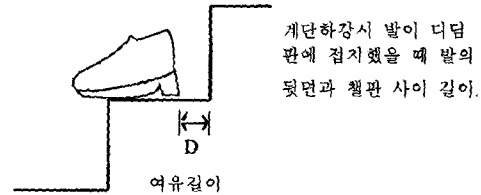


그림 5. 여유길이 측정 방법

III. 보행동작 측정결과 및 분석

1. 접지율

계단 하강시 헛디딤, 미끄러짐에 의한 계단사고에 관련된 데이터로서 계단사고를 예방하기 위해서는 디딤판과 발의 안정된 접촉이 안전한 승강을 확보하는데 중요하며, 연구의 전제는 접지율이 커야 계단을 내려가는 것이 편하며 헛디딤이나 미끄러짐을 예방할 수 있다는 것이다. 1990년 Lockwood의 실험에 의하면 발의 앞꿈치(볼조인트)에서 뒷꿈치까지의 거리는 발 길이의 73%정도이다⁴⁾. 이 수치는 1996년 이영숙의 실험에 의하면 우리나라 성인 남성의 발길이 25.34 mm에 대한 발 안쪽 옆점(볼조인트 추정)의 위치가 17.54 mm(69.2%)로 유사한 결과치를 나

4) I. M. Lockwood; Foot Accommodation on Various Stair Tread Sizes, Journal of Architectural and Planning Research, 7:1, 1990

타내고 있는 것을 알 수 있다⁵⁾.

<그림 6>에 의하면 하강시의 접지율은 단너비와 관계가 있으며, 단너비 270 mm 이상에서 접지율 90% 이상으로 안전한 계단 하강동작이 이루어진다. 또한 접지율은 단너비 치수의 증가에 따라 증가하며, 여자의 접지율은 남자에 비해 10~15% 정도 크다. 이것은 남자의 발이 여자의 발보다 크기 때문이다.

접지율은 단너비가 넓은 경우 접지할 여유가 많기 때문에 100%까지 증가한다. 그러나 단너비가 적은 계단에서는 피험자들은 구불구불한 발자취를 남기는데, 이것은 계단 하강시의 안전을 위해 디딤판에 접지하는 면적을 보다 많이 필요로 하기 때문으로 생각된다. 단높이에 따른 접지율은 단높이 치수와 관계없이 거의 일정한 분포를 보이고 있다.

<그림 7>은 계단의 경사도에 따른 접지율을 나타낸 것으로 42.1° 이상의 경사도에서는 접지율이 낮아져서 안전한 계단 보행을 어렵게 하는 것을 알 수 있다.

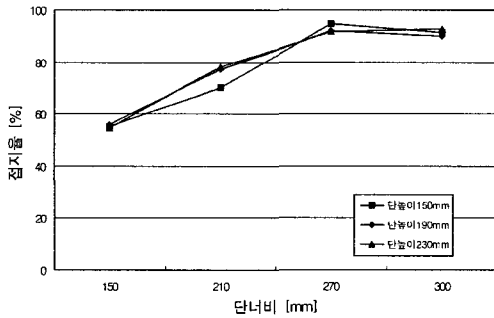


그림 6. 계단 하강시 남녀의 평균접지율

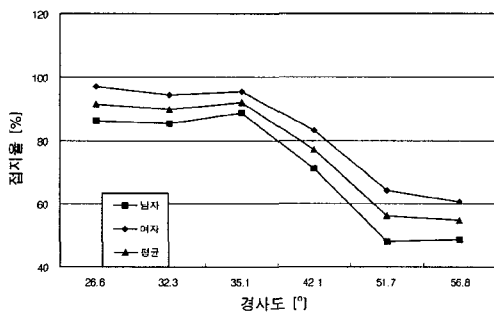


그림 7. 경사도에 따른 접지율

2. 접지각

접지각은 미끄러짐에 의한 계단사고에 관련된 데이터로서, 연구의 전제는 '접지각이 작을수록 디딤판에서 미끄러짐을 예방할 수 있다'는 것이다.

그림 8은 하강시의 단높이에 따른 남·녀 평균 접지각을 나타낸 것으로 단높이 치수의 변화는 접지각에 별 영향을 주지않고 있다.

그러나 단높이 치수가 계단 경사도에 미치는 영향이 크므로 미끄러짐 사고를 예방하기 위해서는 접지각을 낮출 필요가 있으므로 단높이는 190 mm 이하가 되어야 할 것이다.

<그림 9>는 하강시의 경사도에 따른 접지각을 나타낸 것으로 계단의 경사도가 커질수록 접지각도 커지므로 접지각은 계단의 경사도와 밀접한 관계가 있는 것을 알 수 있다. 또한 계단의 경사도는 32.3°가 가장 안전한 것을 알 수 있으며 51.7°, 56.8°의 경사가 심한 계단에서는 보행자가 조심해서 하강함으로써 접지각이 작은 것으로 확인된다.

3. 볼조인트 위치(제1중족골 소두)

계단 하강시 볼조인트의 위치는 헛디딤, 미끄러짐

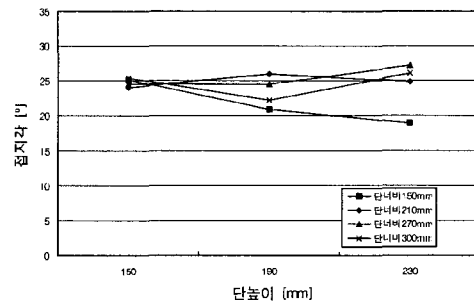


그림 8. 계단 하강시 남녀의 평균 접지각

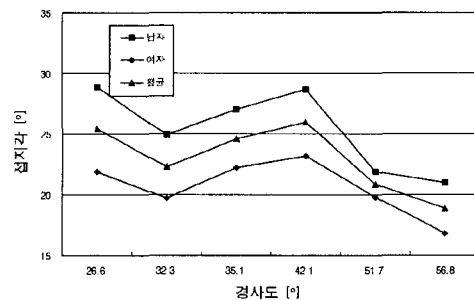


그림 9. 계단 경사도에 따른 접지각

5) 이영숙, 한국인 성인남녀 발 외곽형태측치에 의한 발 형태 분류, 한국생활환경학회지, 제3권 제2호, 1996.

에 의한 사고에 관련된 데이터로서 연구의 전제는 '볼조인트의 위치가 디딤판 위에 있어야 계단을 내려가는 것이 편하며 헛디딤이나 미끄러짐을 예방할 수 있다.'는 것이다.

볼조인트는 체중의 지지점임과 동시에 몸의 안정을 유지하기 위한 발의 운동에 중요한 역할을 하고 있다는 해부학적 소견이 있다⁶⁾.

따라서 계단 하강시 볼조인트가 디딤판에 접지하는 위치에 의해서 계단의 안전성을 어느 정도 판정할 수 있다.

<그림 10, 11>에서와 같이 볼조인트의 위치는 단높이 치수와는 무관하며, 명확하게 볼조인트의 위치는 단너비 치수에 의해 결정된다.

실험 결과 단너비 치수 150mm에서는 볼조인트의 평균 위치는 단코에서 바깥쪽으로 돌출하여 전락의 위험성이 크다. 또한 단코 안쪽으로 접지한 경우 발을 옆으로 비틀어서 억지로 디딤판에 접지하고 있는 것이 관찰되었다. <그림 12>에 의하면 단너비 치수

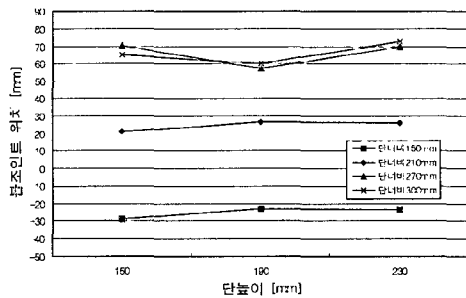


그림 10. 계단 하강시 남녀의 평균 볼조인트 위치(단높이)

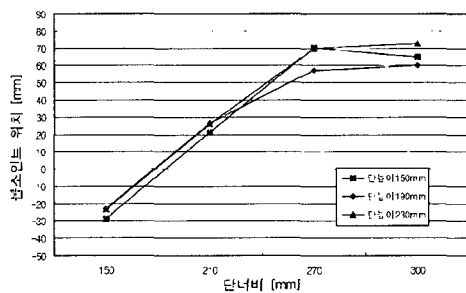


그림 11. 계단 하강시 남녀의 평균 볼조인트 위치(단너비)

6) 최형남; 인간의 발을 통한 체중의 충격흡수 특성에 관한 연구, 경희대학교 경영대학원 산업안전관리학과석사학위논문, 1992.

의 감소에 따라 볼조인트가 단코 밖(-)으로 나가는 것을 알 수 있다. 그 절대치는 거의 단너비 210mm 부근에서 25mm로서 단너비가 최소한 210mm 이상이 되어야 할 것이다. <그림 12>는 하강시의 경사도에 따른 볼조인트의 위치를 나타낸 것으로서 42.1°에서 25mm를 나타내, 이 경사도를 넘는 계단에 있어서는 보행시 위험을 초래할 것으로 나타났다.

4. 이격거리

이격거리는 계단코에 걸려 넘어짐에 의한 사고에 관련된 데이터로서, 연구의 전제는 '이격거리가 클수록 계단에서 걸려 넘어짐을 예방할 수 있다'는 것이다.

<그림 14>에서 보면 이격거리는 경사가 급해질수록 직선관계를 갖고 증가하는 것으로 나타나 계단 경사도와 밀접한 관계가 있는 것으로 추정되며, 단높이가 커질수록 계단코에서 신발 뒷꿈치까지의 이격거리가 길어지고 있다. 또한 <그림 13>에 의하면 단너비가 커질수록 계단코에서 신발 뒷꿈치까지의 이격거리가 짧아지고 있다. 따라서 사람의 보폭을 고려할 때 계단의 단너비가 너무 커져도 위험하다는 것을 알 수 있다.

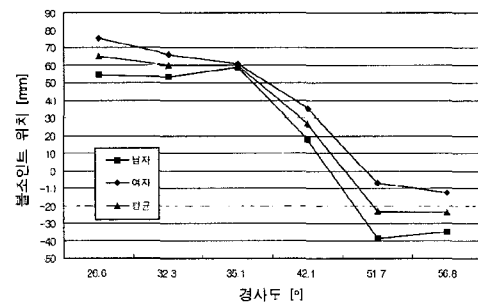


그림 12. 경사도에 따른 볼조인트 위치

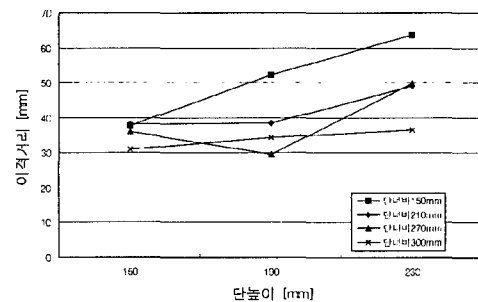


그림 13. 계단 하강시 여자의 이격거리

5. 여유길이

여유길이는 걸려넘어짐에 의한 사고에 관련된 데이터로서, 연구의 전제는 ‘여유길이가 클수록 뒷꿈치가 계단코에 걸려 넘어지는 사고를 예방할 수 있다.’는 것이다. <그림 15>에 의하면 단너비 210 mm 이하에서는 여유길이가 30 mm이나, 단너비 270 mm 이상에서는 약 60 mm를 넘으므로 단너비 60 mm 증가에 따라 여유길이가 2배로 증가한다는 것은 중요한 의미를 가지며, 안전한 보행을 위해서는 계단의 단너비는 270 mm 이상이 되어야 할 것이다.

<그림 16>은 하강시 경사도에 따른 여유길이를 나타낸 것으로 경사가 급해지면서 여유길이가 직선적으로 감소하며, 경사도 42.1°에서 여유길이가 25 mm로 크게 감소하는 것으로 계단의 여유길이는 계단의 경사도와 밀접한 관계가 있는 것으로 확인된다.

IV. 회귀식에 의한 계단 치수 고찰

1. 최대 단너비

계단의 디딤판은 계단을 오르내릴 때 몸의 균형을 유지시켜 주는 중요한 역할을 하는 것으로서 이 디

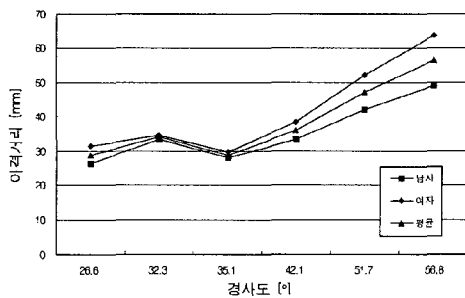


그림 15. 계단 하강시 남녀의 평균 여유길이

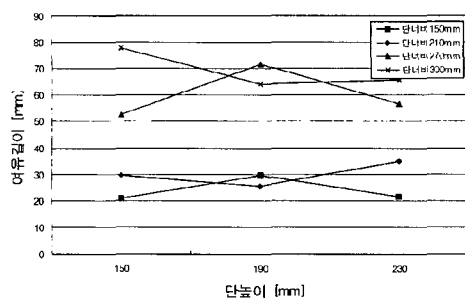


그림 16. 계단 하강시 경사도에 따른 여유길이

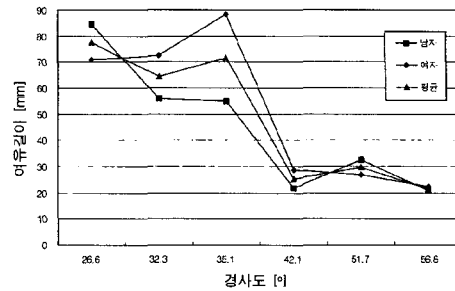


그림 16. 계단 하강시 경사도에 따른 여유길이

딤판은 발이 충분히 접지할 수 있어야 한다. 계단 전락사고 조사에서 일반적으로 ‘계단에서 미끄러져 넘어지다’라고 표현된 것은 디딤판이 좁아서 떨어진 것이 많았다⁷⁾.

미국 국립표준국에 의하면 성인을 중심으로 최소 단너비를 11"(27.9 cm)로 정하고 있다⁸⁾. 이같은 계단을 오르내릴 때 미끄러짐 또는 걸려서 넘어지는 사고의 요인이 될 수 있는 계단 단너비에 대한 우리의 기준은 단독주택 15 cm 이상, 공동주택 26 cm 이상으로 미국 국립표준국의 기준에 못미치고 있다. 1970년 J. S. Ward⁹⁾는 “계단의 적정치수의 연구”에서 계단의 단너비를 변화시켜(단너비 치수 9.7", 10.4", 11.0")계단을 승강할 때 디딤판 위에 발을 착지하는 위치를 측정하였다¹⁰⁾.

실험 결과 상승시보다 하강시에 디딤판 위에 발의 더 많은 부분을 놓는다는 사실을 밝혀 내었다. 이것은 계단 하강시 몸이 앞으로 쏠리는 것을 억제하고 미끄러져 넘어지는 것을 방지하기 위해서 계단의 디딤판에 발을 더 많이 접지하고자 하는 인간의 본능이라고 할 수 있는 것이다.

1974년 J. A. Templer 와 P. Corcoran은 실험에서 계단 상승시 일부 피험자들은 계단에 전혀 발 뒷꿈치를 디디지 않고, 계단 하강시에는 대부분의 피험자들이 그들의 발 앞부분이 계단의 디딤판 밖으로 나와있는 것을 밝혀내었다¹¹⁾.

7) 김용환, 이문보; 전계서.

8) J. Templer; The Staircase, MIT Press, 1992.

9) J.S. Ward, P. Randall; Optimum Dimension for Domestic Stairways, Arch. Journal, 1970.

10) J. Templer; Ibid.

11) Ibid.

만일 발의 몸무게 중심인 볼조인트 부분이 디딤판에 접하지 않는다면 하강시 정상적인 자세를 유지하는 것이 힘들기 때문에 계단의 디딤판에서 내미는 부분의 치수는 엄지발가락의 길이에 신발의 여유부분의 길이를 더하면 된다.

J. A. Templer와 P. Corcoran은 실험에서 디딤판의 최소치수를 결정하는 계산을 하였다. 여기서 계단 하강시 신발과 철판 사이의 최소 여유치수를 0.25"로 설정하고 디딤판 밖으로 내미는 부분의 길이를 1.75"로 정하였으며, 발길이는 미국 성인 남자의 99.9%를 포용할 수 있는 11.8", 신발의 여유길이는 1.2"로 하여 디딤판의 최소 치수를 11.5"로 산정하였다¹²⁾.

계단 보행시 단너비 산정에 관련된 보행동작 측정 요소는 발을 디딤판에 접시켰을 때의 접지율과 볼조인트 위치이다.

계단의 안전성 확보를 위해서는 하강시 발이 디딤판에 일정 수준이상의 접지율 확보가 가능하여야 하며, 볼조인트의 위치가 디딤판을 벗어나지 않아야 한다. 이러한 두가지 경계조건을 이용하여 계단 단너비의 최대 허용치수를 산정할 수 있다.

1990년 Lockwood의 실험에 의하면 전체 발길이 중 발뒷꿈치에서 발앞꿈치(볼조인트)까지의 길이가 차지하는 비율이 73% 정도이므로 본 실험에서도 계단 하강시 안전을 위한 발의 접지율은 73% 이상이어야 한다.

또한, 헛디딤의 계단사고를 방지하기 위해서는 발바닥에서 몸무게의 중심인 볼조인트가 디딤판 안에 위치해서 +의 값을 유지하도록 하여야 한다

1) 접지율에 의한 최대 단너비

본 연구에서는 계단 하강시의 접지율이 73% 이상이며, 볼조인트의 위치가 디딤판 안에 위치하는 +의 값을 확보할 수 있는 단너비 치수를 산정하고자 한다.

접지율과 볼조인트의 위치를 만족하는 계단 단너비 치수를 산정하기 위해 보행동작 실측 데이터를 이용하여 회귀식을 유도하였다. 접지율과 단너비와의 관계를 살펴보면 <그림 17>과 같다. 남·녀 평균의 접지율에서 알 수 있는 바와 같이 단너비가 커지면 접지율도 증가하며, 상관계수는 0.87 이상으로 높은 상관관계를 갖는다. 이러한 회귀식을 이용하여 접지율 73% 이상을 확보하기 위한 단너비를 산출하면

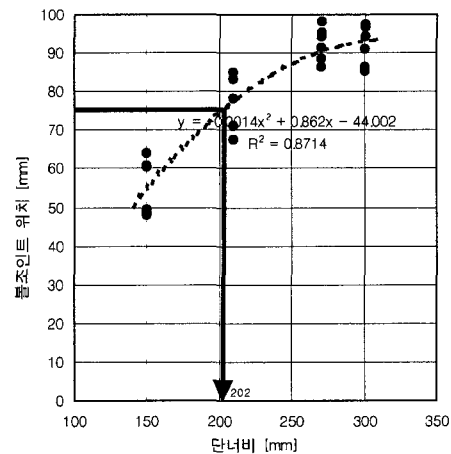


그림 17. 단너비에 따른 접지율 (남,녀 평균)

표 3. 접지율 확보를 위한 단너비

구 분	회 귀 식	상관계수	단 너 비
남 자	$y = -0.0014x^2 + 0.8824x - 53.704$	$R^2 = 0.9726$	221 mm 이상
여 자	$y = -0.0013x^2 + 0.8416x - 34.299$	$R^2 = 0.9768$	175 mm 이상
평 균	$y = -0.0014x^2 + 0.862x - 44.002$	$R^2 = 0.8714$	202 mm 이상

<표 3>과 같다.

<표 3>에 의하면 여자의 발길이가 남자에 비해 작기 때문에 디딤판에 더 많이 접지할 수 있으므로 단너비도 작게 나타나고 있다.

2) 볼조인트 위치에 의한 최대 단너비

볼조인트의 위치가 디딤판을 벗어나지 않기 위한 단너비를 확보하기 위해 볼조인트 위치와 단너비를 이용한 회귀식을 유도하였다.

<그림 18> 남·녀 평균의 볼조인트 위치에 대한 회귀식을 산출한 결과 상관계수가 0.89 이상으로 높은 상관관계를 나타내었으며, 볼조인트 위치를 만족하기 위한 단너비는 <표 4>와 같다.

<표 4>와 같이 하강시의 안전을 고려한 접지율과 볼조인트 위치를 동시에 만족하기 위한 단너비는 남자 221 mm 이상, 여자 175 mm 이상, 남·녀 평균 202 mm 이상을 확보해야 함을 알 수 있다.

2. 최대 경사도

계단의 경사도는 건축법에서 규정되어 있지 않다.

12) Ibid.

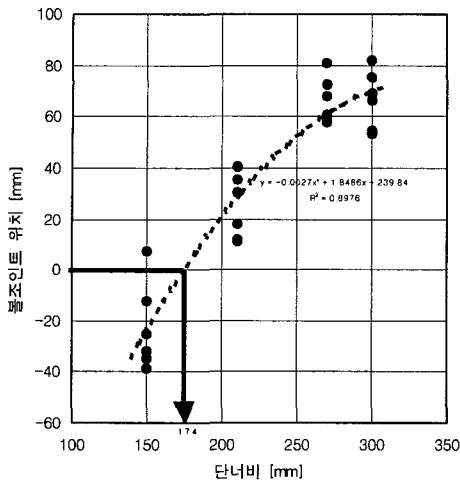


그림 18. 단너비에 따른 불조인트 위치(남,녀 평균)

표 4. 불조인트 위치 확보를 위한 단너비

구분	회귀식	상관계수	단너비
남자	$y = -0.0029x^2 + 1.982x - 268.3$	$R^2 = 0.9687$	186 mm 이상
여자	$y = -0.0025x^2 + 1.7151x - 211.38$	$R^2 = 0.934$	161 mm 이상
평균	$y = -0.0027x^2 + 1.8486x - 239.84$	$R^2 = 0.8976$	174 mm 이상

법규에서 허용하고 있는 경사의 범위는 건물의 용도에 따라서 다르지만, 공동주택은 주택건설촉진법에서 규정하고 있는 단높이 18 cm 이하와 단너비 26 cm 이상을 환산해 볼 때 약 35°, 단독주택은 단높이 23 cm 이하와 단너비 15 cm 이상을 환산해 볼 때 약 56.8°로 추정할 수 있다¹³⁾.

그러나 이것은 거의 사다리에 가깝고, 극히 위험한 경사이다.

1978년 미국 국립표준국에서 연구한 계단에서의 인간의 보행 연구에 의하면 계단에 있어서 사고율은 올라갈 때 보다는 내려가는 경우에 높으며, 단높이가 16 cm보다 작을 경우에 사고율이 더 높고 16 cm 이상일 경우는 사고율이 줄어들며, 또한 단높이가 18.4 cm를 넘을 경우는 사고율도 높고 사고를 당할 경우 치명상을 입기 때문에 계단의 안전성을 고려한 계단 단높이의 적정범위는 $16 \text{ cm} \leq R \leq 18.4 \text{ cm}$ 를

권장하고 있다¹⁴⁾.

한편 성인을 기준으로 한 단너비 최소치수는 27.9 cm를 권장하여 만일 이 치수 보다 적은 치수를 사용하면 마치 계가 움직이는 것과 같은 우스꽝스러운 보행 자세로서 계단을 내려가야 할 것이라고 지적하고 있다.

단너비 치수에서 사고율이 가장 적은 경우는 30.5 cm로서 이 치수보다 작은 치수가 적용된다면 사고율은 더욱 높아지게 된다. 따라서 계단의 적정 경사도 범위는 $27.7^\circ \leq \theta \leq 33.4^\circ$ 로 구성된다. 그러므로 이러한 경사도의 범위를 고려한 계단의 단높이, 단너비 치수의 조합은 이 경사도 범위를 벗어나는 조합의 계단보다 안전성이 높다고 할 수 있다¹⁵⁾.

1) 접지율에 의한 최대 경사도

계단 하강시 안전성 확보를 위한 중요한 요소 중의 하나가 계단의 경사도이다. 경사도는 단너비·단높이 치수에 의해 결정되며, 앞서 산정된 단너비의 최대 허용치수와 경사도를 이용하여 단높이를 산정할 수 있다. 경사도의 경우 단너비 산정시와 마찬가지로 하강시 발이 디딤판에 접지할 때의 접지율 및 불조인트 위치를 만족하기 위한 경사도를 산정하였다.

접지율과 경사도와의 상관관계를 실측 데이터를 이용하여 나타내면 <그림 20>과 같다. 그 결과를 보면 접지율과 계단의 경사도는 역비례 관계에 있으며, <그림 20> 남·녀 평균의 접지율에 대한 회귀식을 산출한 결과 상관계수는 0.84 이상의 값을 나타내고 있다.

디딤판에서 접지율 73% 이상을 확보하기 위한 경사도는 <표 5>에서 남자 42° 이하, 여자 49° 이하, 남·녀 평균 45° 이하로 나타났다.

2) 불조인트 위치에 의한 최대경사도

계단 하강시 불조인트가 디딤판을 벗어나지않기 위한 경사도를 산정하기 위해 불조인트 위치와 경사도의 상관관계를 분석하면 <그림 20>과 같다. 그 결과를 보면 경사도가 크면 하강시 불조인트가 디딤판에서 벗어나 위치하게 되고, 이러한 관계를 회귀식으로 나타냈다. <그림 20>에서 불조인트의 위치가 0 일 때의 경사도를 남자, 여자, 남·녀 평균 불조인트 위치로 구분하여 나타내면 <표 6>과 같다

<표 5>와 <표 6>에 나타난 것과 같이 접지율과

14) J. Archea, B. L. Collins; Guidelines for Stair Safety, N.B.S., 1979.

15) Ibid.

13) 장동찬; 건축제법규, 기문당, 1998.

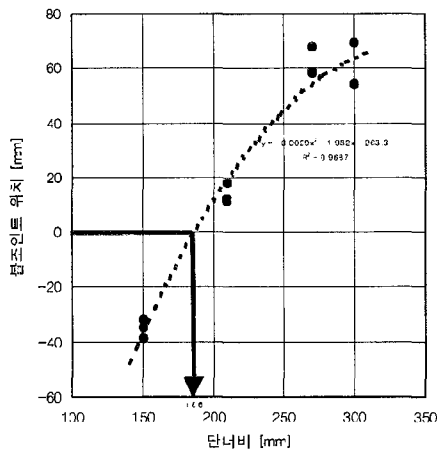


그림 19. 경사도에 따른 접지율(남·녀평균)

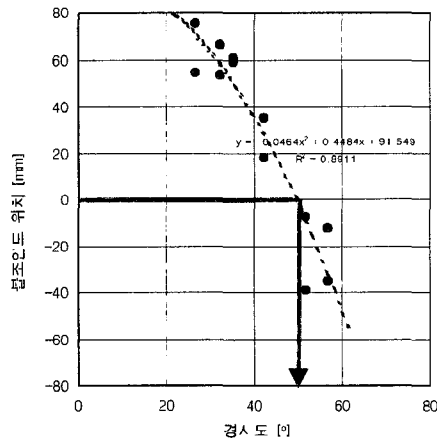


그림 20. 경사도에 따른 불조인트 위치(평균)

불조인트의 위치를 모두 만족시키기 위한 경사도는 남자 47° 이하, 여자 52° 이하, 남·녀 평균 50° 이하로 분석되었다.

3. 최대 단높이

계단을 오르내릴 때 발걸림, 헛디딤 사고의 요인이 될 수 있는 단높이에 대한 현행 기준은 단독주택 23 cm이하, 공동주택 18 cm 이하이다. 미국 국립표준국에 의하면 계단의 단높이 한계를 18.4 cm로 잡고 있으며, 18.4 cm를 초과하면 많은 사고를 유발하게 된다고 보고하고 있다¹⁶⁾.

16) J. Archea, B.L, Collins; Ibid.

표 5. 접지율 확보를 위한 경사도

구분	회귀식	상관계수	경사도
남자	$y = -0.0294x^2 + 0.9414x - 85.25$	$R^2 = 0.925$	42° 이하
여자	$y = -0.0266x^2 + 0.8753x - 93.882$	$R^2 = 0.972$	49° 이하
평균	$y = -0.028x^2 + 0.9083x - 89.566$	$R^2 = 0.843$	45° 이하

표 6. 불조인트 위치 확보를 위한 경사도

구분	회귀식	상관계수	경사도
남자	$y = -0.0663x^2 + 1.9023x - 58.845$	$R^2 = 0.9218$	47° 이하
여자	$y = -0.0264x^2 + 1.0056x - 124.25$	$R^2 = 0.9793$	52° 이하
평균	$y = -0.0464x^2 + 0.4484x + 91.549$	$R^2 = 0.8911$	50° 이하

안전성 확보를 위한 계단의 치수 결정을 위하여 접지율과 불조인트 위치를 만족하는 단너비와 경사도를 데이터의 회귀분석을 통하여 산정하였다. 이와 같이 산정된 최대 허용 단너비와 경사도를 기준으로 아래의 식을 사용해서 단높이를 계산하면 남자 198 mm 이하, 여자 201 mm 이하, 남·녀 평균 202 mm 이하로 나타났다.

$$\tan \theta = R/T$$

$$R = \tan \theta \times T$$

R: 단높이 T: 단너비 θ : 경사도

$$\text{남자: } R = \tan 42^\circ \times 221 = 198(\text{mm})$$

$$\text{여자: } R = \tan 49^\circ \times 175 = 201(\text{mm})$$

$$\text{평균: } R = \tan 45^\circ \times 202 = 202(\text{mm})$$

이상에서와 같이 안전한 계단의 치수 산정을 위하여 계단 하강시 발의 위치가 불조인트를 포함한 73% 이상이 디딤판 위에 놓여야 한다는 전제아래 실험 결과를 통하여 최대 허용치수를 산정하였다.

4. 회귀식에 의한 계단의 안전치수 범위

<표 7>에 나타난 것과 같이 계단에서의 안전보행을 위한 최대 허용치수는 계단보행시 발이 커서 조건이 불리한 남자의 치수를 기준으로 최대 단너비

221 mm 이상, 최대 단높이 198 mm 이하, 최대경사도 42° 이하로 산정하였다.

표 7. 회귀식에 의한 계단의 안전치수 범위

	측정요소	남	여	평균
단너비	접지율	221 mm	175 mm	202 mm
	볼조인트 위치	186 mm	161 mm	174 mm
경사도	접지율	42°	49°	45°
	볼조인트 위치	47°	52°	50°
단높이	회귀식	198 mm	201 mm	202 mm

V. 결 론

본 연구는 계단에서의 안전한 승강을 위해 계단에서 인간의 보행동작을 화상동작분석 수법을 사용하여 분석함으로써 계단의 적정치수(경사도, 단높이, 단너비)범위를 종합적으로 고찰하여 대안을 제시함으로써 앞으로 우리나라 주거환경을 개선함과 더불어 계단에서의 사고를 방지하는데 일익을 담당하려는 목적을 갖고 있다.

연구의 방법은 실험계단에서 계단보행시 보행동작을 측정하고 화상동작분석 수법에 의해 수치 데이터화 했으며, 측정된 데이터는 통계 프로그램에 의해 분석한 후 계단의 적정 단높이, 단너비, 경사도를 산정하여 분석·고찰하였다.

본 논문의 연구결과는 다음과 같다.

안전을 고려한 계단에 있어서 계단 보행시의 접지율, 접지각, 볼조인트 위치, 이격거리, 여유거리등을 측정하여 계단의 경사도, 단높이, 단너비 치수를 분석·고찰했다.

1) 계단 하강시의 안전을 고려한 접지율 73% 이상과 볼조인트 위치 0 이상을 만족하기 위한 최대 단너비는 남자 221 mm 이상, 여자 175 mm 이상을 확보해야 함을 알 수 있다.

2) 계단 하강시의 안전을 고려한 접지율 73% 이상과 볼조인트 위치가 0 이상을 만족하기 위한 최대 경사도는 남자 47° 이하, 여자 52° 이하로 분석되었다.

3) 접지율과 볼조인트 위치를 만족하는 최대 단높이는 앞에서 산정된 최대 허용 단너비와 경사도를 기준으로 아래의 식을 사용해서 단높이를 계산하면 남자 198 mm 이하, 여자 201 mm 이하로 나타났다.

$$\tan \theta = R / T$$

$$R = \tan \theta \times T$$

R: 단높이 T: 단너비 θ : 경사도

남 자: $R = \tan 42^\circ \times 221 = 198(\text{mm})$

여 자: $R = \tan 49^\circ \times 175 = 201(\text{mm})$

따라서 가장 계단 보행에 있어서 발이 커서 조건이 불리한 남자의 수치를 기준으로 안전을 고려한 계단의 치수는 단너비 221 mm 이상, 단높이 198 mm 이하, 경사도 42° 이하로 산정되었다.

우리나라의 계단 설계에 관한 건축법규는 경사도가 설정되어 있지 않고, 단높이, 단너비의 허용범위도 너무 크다. 따라서 계단에서의 사고를 방지할 수 있는 안전한 주거환경을 위해서는 과학적인 연구와 자료를 밑바탕으로 하여 이와 관련된 제반 법규를 개선하는 것이 요구된다.

참 고 문 헌

1. 김용환·이문보(1997), 계단사고의 원인 및 기인요소에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 제13권 제12호.
2. 김경일·최창열·안옥희(1998), 고령자용 실내계단디자인에 관한 인간공학적 실험 연구, 한국주거학회 논문집, 제9권 제3호.
3. 박두용(1979), 계단에 있어서 최적 단높이 및 단너비 비율에 대한 연구, 영남대 환경문제연구소.
4. 정진원(1987), 인체에너지 대사의 분석을 통한 저층아파트 계단의 적정치수계획에 관한 연구, 고려대 대학원 박사학위 논문.
5. J. Archea, B. L. Collins, and F. I. Stahl(1979), Guidelines for Stair Safety, N.B.S. Washington, D. C. NBS-BSS 120.
6. D. H. Carson, J. Archea, S. T. Margulis, and F. E. Caeson(1978), Safety on Stairs, N.B.S. BSS 108, 1978.
7. National Engineering Laboratory(1978), An Analysis of the Behavior of Stair Users, NBS.
8. J. Templer(1992), The Staircase 2-Studies of Hazards, Fall and Safe Design, MIT Press.
9. J. S. Ward and P. Randall(1970), Optimum Dimension for Domestic Stairways, Arch. Journal.
10. 古瀬 敏·宇野英隆·遠藤佳宏(1980,1981,1982,1983), 階段使用時の安全性確保に関する研究 1,2,3,4,5, 日本建築學會大會 學術講演概要集.
11. 永田久雄 外3人(1976), 階段・通路の安全性に関する研究 - 階段歩行中での労働災害の調査について, 労働性産業安全研究所.
12. 林玉子 外 2人(1985), 高齢者の轉到事故誘發要因に関する研究, 日本建築學會大會學術講演概要集.