

작업장 바닥 소재와 상태에 따른 지게차 미끄럼 거리 측정

기도형[†] · 신동훈^{*}

계명대학교 산업시스템공학과 · *계명대학교 산업기술대학원 산업안전공학과
(2004. 9. 25. 접수 / 2005. 1. 12. 채택)

Slip Distance of Forklift Depending upon Floor Materials and Conditions of Worksite

Dohyung Kee[†] · Dong Hun Sin^{*}

Department of Industrial and Systems Engineering, Keimyung University

^{*}Department of Industrial Safety Engineering, Graduate School of Industrial Technology, Keimyung University
(Received September 25, 2004 / Accepted January 12, 2005)

Abstract : The accidents attributed to the forklift have increased as the number of the forklift increases. It is significant that most of the accidents were fatal. This study investigated slip distance of forklift depending upon the floor materials and their conditions in industrial site. For doing this, an experiment was conducted, in which the floor materials and their conditions were adopted as independent variables and the slip distance as dependent variable. Six floor materials included asphalt, concrete, two color hardener mortar, epoxy paint and deluxe tile. Two types of floor conditions, wet and dry, were used in the experiment. The results showed that the slip distance was shorter on the asphalt and concrete floors than on other floors, and that the distance on the wet floor was six times longer than that on the dry condition. Based on this result, it is recommended that as in the advanced countries, the regulation or standard on the floor conditions such as friction coefficient be established for reducing forklift relevant accidents.

Key Words : slip distance, forklift, floor material, floor condition

1. 서 론

최근 들어 사업장에 많은 전동 지게차가 보급되어 물류 작업 등에 사용되고 있다. 건설교통부 통계에 따르면 2003년 11월 현재 우리나라 전동 지게차 등록 대수는 84,870대로 조사되어 있으나, 건설 중기로 등록되지 않는 솔리드타이어형 전동 지게차가 지 합한다면 이보다 훨씬 많은 지게차가 보급되어 있는 것으로 판단된다¹⁾. 지게차 사용이 증가함에 따라 이로 인한 재해도 증가하고 있다. 2000-2002년 3년 동안 지게차 사고로 인한 사망자수는 총 93명이었으며, 사망자는 운전자 35명, 공동 작업자 23명, 보행자 28명, 정비 작업자 7명으로 조사되었다. 지게차형별로는 카운트 발란스형이 90명으로 대부분을 차지하였고, 리치형 지게차로 인한 사망 사고가

3건인 것으로 나타났다^{2,4)}. 2002년도에만 지게차로 인한 중대재해가 9건 발생하여 9명이 사망하였다⁴⁾. 이상의 통계 자료에서 보듯이 지게차는 사고가 나면 사망 사고로 이어지는 위험성이 높은 기인물임을 알 수 있다.

앞서 언급한 바와 같이 실내에서 많이 사용하는 전동 지게차 사고는 사망 등의 치명적 인명 손실을 많이 일으키지만, 물적 사고를 일으켜 경제적인 손실도 초래한다. 제한된 공간과 매끈한 바닥에서 작업하다 보니 지게차 포크로 제품을 상하게 하거나 바닥 미끄럼으로 인하여 벽, 제품, 시설 등에 부딪치는 사고가 많이 일어나서 경제적인 손실을 많이 준다. 이러한 인적, 경제적 손실을 줄이기 위해서는 전동 지게차로 인한 재해를 예방하여야 하나, 사업주 및 작업자의 안전 의식 부재, 관련 법령 미비 등으로 중대재해가 다발하고 있다.

전동 지게차는 작업자들이 실내에서 손쉽게 운전

[†]To whom correspondence should be addressed.
dhkee@kmu.ac.kr

할 수 있고, 소음이 적고, 매연도 없어 바닥이 미끄러운 실내 작업장에서 많이 사용하다 보니 안전사고가 많이 일어나는 원인이 된다. 따라서, 본 연구에서는 작업장 바닥 소재와 상태가 지게차 미끄럼 거리에 얼마나 큰 영향을 주는지를 실험적으로 조사하고자 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 정지마찰계수 측정기로 작업장 바닥의 마찰 계수를 측정하고, 실제 작업장에서 활용되고 있는 전동 지게차를 이용하여 바닥 소재와 상태에 따른 미끄러짐 거리를 측정하였다. 본 연구의 결과는 안전한 작업장 바닥 관리와 지게차 사용 시 가장 적합한 작업장 바닥이 어떤 것인지를 선택하는데 기초 자료로 활용될 수 있다. 또한, 실내 작업장에서 지게차로 인하여 발생하는 인명사고와 경제적 손실의 감소에도 기여할 것으로 기대된다.

2. 방법

2.1. 실험변수

지게차의 미끄럼 거리를 측정하기 위하여 바닥 소재와 바닥 상태를 실험 변수로 정하였다. 바닥 소재로는 지게차가 사용되는 산업 현장에서 많이 사용되고 있는 아스팔트(도로), 콘크리트(도로), 칼라하드너 모르타르(A, B 2종류), 에폭시 페인트, 디럭스 타일 등 6수준으로 하였다. 바닥 상태는 미끄럼 거리에 영향을 줄 것으로 기대되는 마른 바닥과 물에 젖은 바닥의 2수준으로 하였다. 미끄럼 거리는 바닥 소재 6수준, 바닥 상태 2수준의 조합 12곳에서 측정하였다.

2.2. 정지 마찰계수 측정

정지 마찰계수는 정지마찰력기(D 5859-96, William English사, 1996)를 사용하여 측정하였다. 측정 전에 측정하고자 하는 바닥에 이물질이 없는지 확인하고 깨끗이 청소하였다. 마찰계수는 마른 바닥과 젖은 바닥에서 각각 측정하였다. 가능한 넓은 곳을 선택하여(바닥 소재에 따라 6곳) 바닥을 5부분으로 나누어 5곳에서 정지마찰력기를 이용하여 마찰계수를 측정하였다. 대표 측정값은 5곳의 측정값의 평균값으로 하였다.

2.3. 미끄럼 거리 측정

지게차는 차령이 3년 미만이며 성능이 양호한 Clark사의 EPG18 모델(총중량: 3,215kg, Fig. 1)을 사

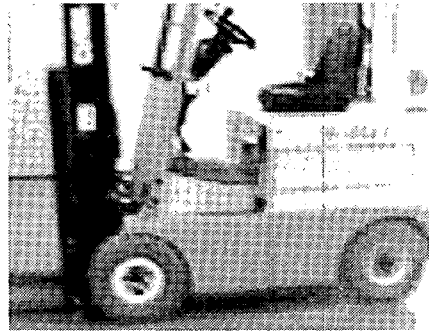


Fig. 1. Forklift used in the experiment

용하였다. Clark사의 EPG18 모델로 선정된 이유는 산업 현장에서 가장 많이 사용되는 모델이고, 2000-2002년 사이 사망 사고의 대부분을 차지한 카운트 발란스형이었기 때문이다. 지게차의 타이어는 일반적으로 공기압식과 쿠션솔리드식으로 나누어지나, 공기압식 타이어는 단면적이 커 좁은 실내에서는 거의 사용되지 않으므로 솔리드식을 선택하였다⁹⁾. 타이어 상태는 교체한 지 1년 미만인 것으로 마모가 적은 양호한 것이었다. 미끄럼 거리는 지게차로 20m 정도 주행하여 최고 속도인 14km/h에 이른 후 급제동하여, 바퀴에 의한 미끄럼 자국을 줄자로 측정하였다. 측정은 5회 반복하여 평균치를 사용하였다. 마른 바닥은 이물질이 없는 건조된 곳에서 측정하고, 젖은 바닥 도로 2곳은 비 온 후 바닥이 젖은 상태(빗물이 고이지 않고 바닥이 젖어 있는 상태)에서 측정하였다. 실내 바닥 4곳은 바닥에 이물질이 없는지 확인 후 밀대에 물을 적셔 바닥을 젖게 하여 측정하였다(바닥에 물이 고이는 곳이 없게 고무 분산시켜 촉촉하게 한 상태로 하였다). 미끄럼 거리를 측정할 바닥 모두 경사가 거의 없는 수평인 곳을 선정하였으며, 바닥은 완공한 지 3년 미만의 것으로 선택하였다.

3. 결과

3.1. 정지마찰력 계수

바닥 재질에 따른 정지마찰 계수는 Fig. 2에 나와 있으며, 그림에 표준편차가 표시되어 있다. 표준편차가 평균값에 비하여 매우 작아 마찰 계수 측정간 편차가 크지 않음을 알 수 있다. 마른 바닥에서 마찰 계수는 칼라하드너 모르타르 A 0.72에서부터 아스팔트 0.85까지로 나타나 바닥 소재에 따라 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나, 젖은 바닥에서는 디럭스 타일에서 최소 0.36을 보였고, 아스팔트에서 0.82

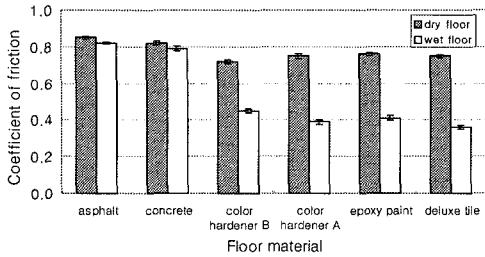


Fig. 2. Coefficient of static friction depending on floor materials

를 보이는 등 바닥 소재에 따라 최소와 최대가 두 배 이상의 차이를 보였다. 젖은 바닥에서 정지마찰 계수는 아스팔트, 콘크리트를 빼고 모두 0.50 이하로 나왔다.

3.2. 분산분석

바닥 소재와 상태를 변수로 한 분산분석에서 바닥 소재는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나왔다($p > 0.41$). 이는 마른 바닥에서는 바닥 소재에 따른 미끄럼 거리의 차이가 거의 없고, 젖은 상태에서는 칼라 하드너 모르타르, 에폭시 페인트, 디럭스 타일에서만 차이가 크게 나타나기 때문인 것으로 판단된다. 그러나, 실제로는 바닥 소재가 미끄럼 거리에 영향을 미치는 것으로 추정된다 (Fig. 3 참조). 이러한 이유로 본 연구에서는 바닥 소재 대신 지게차 미끄럼 거리에 대한 바닥 소재의 특성을 나타낼 수 있는 마찰 계수를 몇 개의 그룹으로 나눈 후 (0.30-0.39, 0.40-0.49, 0.70-0.79, 0.80 이상), 이를 변수로 하여 분산분석을 수행하였다.

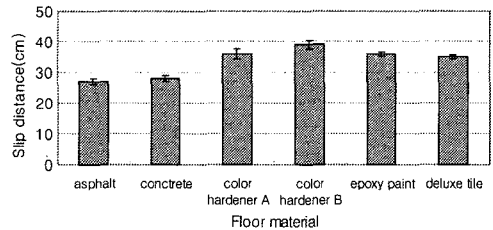
분산분석 결과는 Table 1에 정리되어 있으며, 표에서 보는 바와 같이 바닥 마찰 계수 및 상태가 미끄럼 거리에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다($p < 0.00$). 바닥 상태에 비하여 마찰 계수가 더 큰 영향을 미침을 보였다.

3.3. 바닥 소재

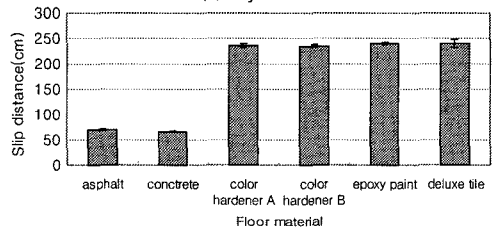
바닥 소재에 따른 지게차 미끄럼 거리는 Fig. 3에 나와 있다. 마른 바닥에서는 칼라 하드너 모르타르 B에서 39cm로 미끄럼 거리가 가장 크게 나타났으며, 아스팔트와 콘크리트 소재는 다른 재질에 비하여 미끄럼 거리가 작음을 보였다. SAS Tukey와 Duncan 검정에서 (칼라 하드너 모르타르 B), (에폭시 페인트, 칼라 하드너 모르타르 A, 디럭스 타일), (콘크리트, 아스팔트) 등의 3 그룹으로 나누어지는 것으로 나타났다.

Table 1. ANOVA results

	DF	Mean square	F value	P value
friction coefficient	3	12751.489	1083.74	<0.00
floor condition	1	1896.003	161.14	<0.00
error	7	11.766		



(a) dry floor



(b) wet floor

Fig. 3. Slip distances depending on floor materials and conditions

젖은 바닥에서는 아스팔트와 콘크리트 소재에서는 미끄럼 거리가 70cm 이내로 나타났으나, 칼라 하드너 모르타르 A, B, 에폭시 페인트, 디럭스 타일에서 미끄럼 거리가 230cm 이상으로 매우 크게 나타났다. Tukey와 Duncan 검정에서 (칼라 하드너 모르타르 A, B, 에폭시 페인트, 디럭스 타일), (아스팔트, 콘크리트)의 2 그룹으로 나누어졌다.

3.4. 바닥 상태

바닥 상태에 따른 미끄럼 거리는 Fig. 4에 나와있으며, 그림에서 보는 바와 같이 젖은 바닥에서 미끄럼 거리가 마른 바닥에 비하여 약 6배 큼을 알 수 있다. 젖은 바닥에서 표준편차가 큰 것은 아스팔트와 콘크리트 소재와 다른 소재 사이에 미끄럼 거리의 차이가 크게 나타났기 때문이다.

3.5. 마찰 계수와 미끄럼 거리의 관계

분산분석에서 마찰 계수의 영향이 크게 나타났고 바닥 소재와 상태 특성을 마찰 계수로 표현할 수 있으므로, 미끄럼 거리를 마찰 계수로 나타내기 위하여 이들의 관계를 회귀분석을 통하여 알아보았다

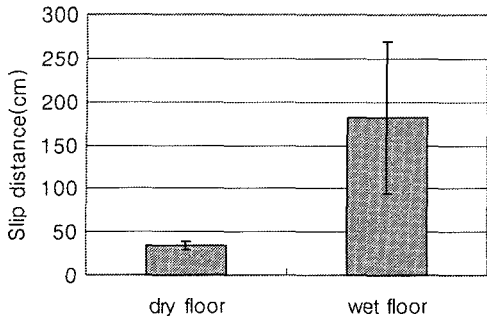


Fig. 4. Slip distances depending on floor conditions

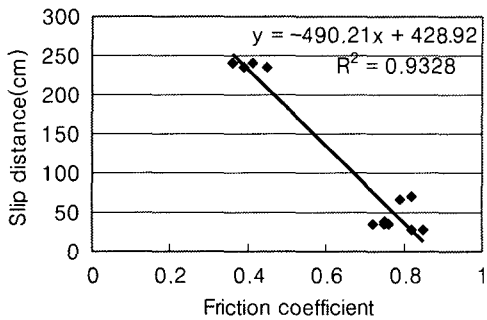


Fig. 5. Regression analysis between friction coefficient and slip distance

(Fig. 5). 그림에서 보는 바와 같이 마찰 계수와 미끄럼 거리는 선형 관계로 잘 표현될 수 있음을 알 수 있다(R^2 : 93.2%). 즉, 마찰 계수에 대한 회귀식의 계수가 매우 커 마찰 계수가 감소함에 따라 미끄럼 거리가 선형적으로 급격하게 증가한다 할 수 있다.

4. 토의 및 결론

본 연구에서는 바닥 소재 및 상태에 따른 지게차의 급제동 시 미끄럼 거리를 측정하였다. 미끄럼 거리에는 바닥 소재의 마찰 계수가 가장 큰 영향을 미치며, 마찰 계수로 미끄럼 거리를 예측할 수 있음을 보였다. 미끄럼 거리는 마른 상태인가 젖은 상태인가의 바닥 상태에 따라 크게 차이를 보였으며, 젖은

바닥에서 깔라 하드너 모르타르, 에폭시 페인트, 디럭스 타일 소재에서는 2m를 초과하는 등 마른 바닥에 비하여 최고 6배나 커지므로 지게차 운전 시 주의가 필요함을 보였다.

할인점, 백화점 등의 유통 업체에서는 소비자를 직접 대상으로 하기 때문에 미관상 바닥 소재로 깔라 하드너 모르타르, 에폭시 페인트, 디럭스 타일 등을 많이 사용하고 있는 실정이다. 이러한 소재는 물에 젖거나 물기가 있을 경우 마찰력이 떨어져 미끄럼 거리가 크게 증가하므로 지게차 운전 전에 바닥의 물기를 제거하는 등 바닥 관리에 각별한 주의를 하여야 한다. 미국 등 선진국에서는 바닥 미끄러짐을 방지하기 위하여 표준 바닥 마찰 계수를 정하여 활용하고 있으나, 우리나라는 아직 기준이 없는 실정이다^{6,7)}. 지게차 사고가 중대재해로 연결될 가능성이 높음을 감안할 때, 우리나라에서도 지게차 안전을 위하여 작업장 바닥의 마찰 계수에 대한 법적 기준 마련이 필요하다 하겠다.

본 연구에서는 지게차 제동 시 미끄럼 거리에 대한 바닥 소재 및 상태의 영향만을 다루었으나, 미끄럼 거리는 지게차 운반 하중, 바퀴 종류 및 상태, 운행 속도, 지게차의 종류 등 다양한 요인이 영향을 미칠 것으로 생각된다. 이러한 요인을 실험 변수로 한 실험 중 발생할 수 있는 위험을 최소화할 수 있다면 이들 요인에 대한 추후 연구가 필요하다 하겠다.

참고문헌

- 1) 한국건설교통부, 건설기계, 2003.
- 2) 노동부, 2002 산업재해분석, 2003.
- 3) 한국산업안전공단, 2002 산업재해 원인분석, 2003.
- 4) www.kosha.net (한국산업안전공단).
- 5) Clark(주), 지게차 사용지침서, 2003.
- 6) 한국산업안전공단, 지게차 관계법령 및 작업안전, 승림문화사, 1997.
- 7) ASTM, PA, United States, 1996.