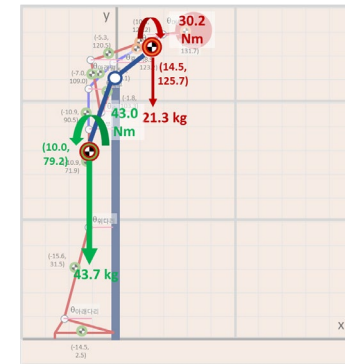
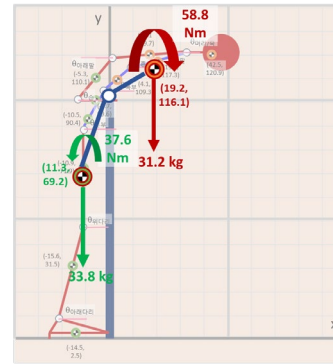
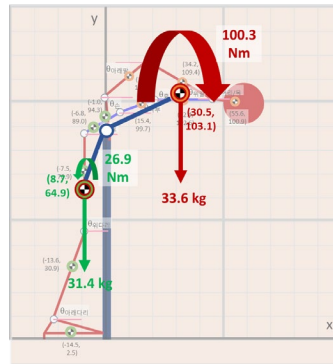
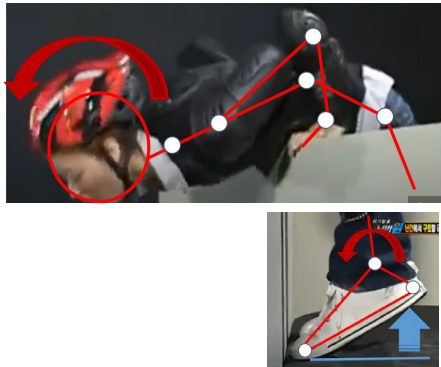


안전 난간 높이에 따른 추락 위험 분석과 법인간공학 고찰

An Analysis of **Fall Risk** Based on the **Height of Guardrail**
and an Overview of **Forensic Ergonomics**



유희천¹, 김남오²

¹포항공과대학교, 산업경영공학과, 인간공학설계기술연구실
²광주시 동구

목 차

- 서론
 - ✓ 배경
 - ✓ 목적
- 분석 방법: 모멘트 및 평형 분석
- 분석 결과
 - ✓ 신체 부위별 길이, 무게중심위치, 무게 추정
 - ✓ Human Stick Model
 - ✓ 전도위험 분석 및 해석
- 토 의
- 법인간공학
- Q & A

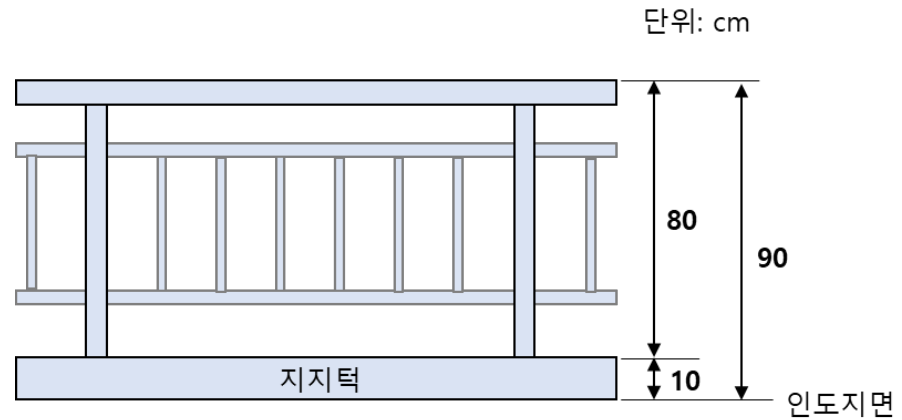
추락사 사건



추락사한 아들..
위험천만 도심 난간

사건 개요

- 사건 장소: 광주광역시 동구 천변우로 14교
- 사건 발생 시간: 2020. 4. 4. AM 2:38
- 사고 당사자 신장 167 cm, 체중 65 kg



난간 및 차량방호울타리 높이 지침

- 난간 및 보행자용 방호울타리 **표준 높이 110 cm** (국토교통부 도로안전시설 설치 및 관리지침)
 - (1) 적용 용도: 보행자 등의 **추락 방지를 목적**으로 설치하는 경우
 - (2) 높이 정의: **노면 혹은 보도면으로 부터 상단까지** 길이
 - (3) 설정년도: 2001년
 - (4) 지침 참조자료: (사) **일본도로협회의 방호책의 설치기준**
 - (5) 설정 고려요소: **성인 남성의 무게중심높이**와 **자전거에 탑승한 성인남성의 무게중심높이**를 함께 감안

음주 효과

□ 음주로 인해 인간의 다양한 기능 약화

- (1) 두통, 어지러움, 구토 증상
- (2) 자세제어, 평형감각, 반사신경 저하
- (3) 인지능력(집중력, 기억, 판단능력) 저하
- (4) 손과 눈의 협응능력 저하

음주 후 구토로 인한 난간 추락 사고

Student falls from 2nd story balcony · The Badger Herald



Menu ▾

News Herald

Student falls from 2nd story balcony

18살 학생이 음주 상태에서 76 cm 높이 난간에 기대어 구토하다 2층 건물에서 추락하여 중상

As of Tuesday afternoon, 18-year-old Witte resident Jason Gratzl was listed in critical condition at UW Hospital after falling from a second-floor balcony late Saturday night. He was attending a party at 453 W. Mifflin St.

Alcohol apparently played a major factor in the fall. Gratzl was leaning over the railing to vomit and lost his balance, the Wisconsin State Journal reported.

Ald. Mike Verveer, District 4, was on the scene around bar time to see the “gruesome pool of blood that was left on the concrete steps where [Gratzl] landed.”

Verveer said balcony and roof falls in Madison are not a common occurrence and this is an unfortunate exception.

Verveer said he spoke with police officials who were surprised Gratzl initially survived.

“This is such a sad welcome to Madison,” he said.

The accident has created some discussion about the safety of balconies on old buildings near campus.

Balconies are a big focus for the Madison building inspection unit, director Linda Grubb said.

“[Building inspectors] inspect balconies each and every April with a fine-toothed comb” to make sure they are structurally sound and meet all city building codes for the annual Mifflin Street block party, Verveer said.

“The block party results in a lot of people on balconies. Older balconies may not always hold,” Grubb said. She added during pre-block-party inspections inspectors ensure Mifflin balconies can hold large groups. They also inform tenants of the maximum number of people each can support.

Verveer said when he saw the house Saturday night, he noticed the guardrail on the porch is shorter than average — about 30 inches.

A recently adopted city code requires all new and upgraded porch railings be at least 42 inches, according to Verveer. City code also requires railings to be in good condition. Whenever inspectors see a railing that does not meet safety requirements, they order the landlord to repair it and increase the height to 42 inches, he said.

“We have the ability in housing code to accept existing rails or to order them up to the current height,” Grubb said. “It has been policy for 20 years to allow [railings to stay] in their current state. This is a policy that could be changed if City Council looks at it.”

Verveer said he feels this “tragedy” in which alcohol played such a large factor doesn’t warrant a change in law.

“Of the police officials I spoke with, none could remember railings being a factor in falls in the past,” Verveer said. He feels a change in current laws would be expensive and would impact many houses with porches that are outside areas students live. As many as one-fifth of railings in the city would have to be replaced, he said.

건물주는 방호울타리 높이 지침 107 cm에 적합하게 건물 상태를 유지할 책임 있음

Megan Hicks, program director of the Tenant Resource Center, said it is not uncommon for them to receive requests from new tenants to check out the safety of their buildings. The program director said she offers an on-call service to help tenants regarding apartment repairs. Hicks did not have any specific numbers of the requests for these repairs.

Hicks said that although this accident is rare, landlords are responsible for ensuring their buildings are properly maintained and meet all building codes.

“Any kind of situation that can compromise the safety of tenants should be [considered] a serious priority,” Hicks said.

UW junior Ashley Wurster, who lives on Mifflin Street, has a roommate that saw the commotion following Gratzl’s fall.

“[The incident] makes us nervous because we have a balcony that we don’t think is very sturdy,” Wurster said, adding she plans to contact her landlord to make sure it meets code requirements.

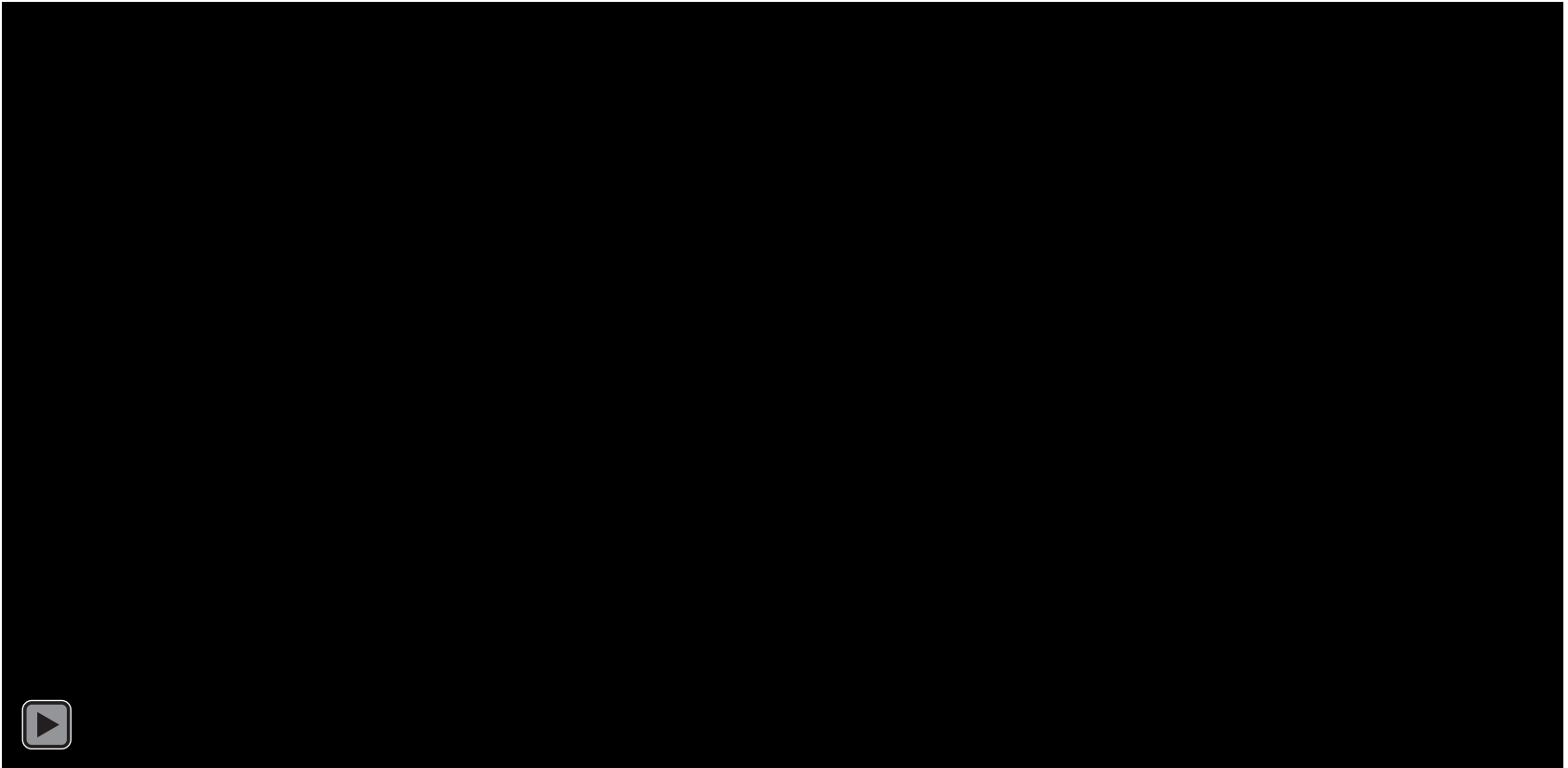
“We don’t want to have to worry,” she said. “During the Mifflin Street block party, we can’t keep people off the porch. Hopefully we’ll have repairs [by then].”

The residents of 453 Mifflin St. refused to comment.

음주 후 구토로 인한 난간 추락 사고

[위기의 바보들 40 난간 추락사고 - YouTube](#)

KBS Entertainment 위기탈출 넘버원 2010. 9. 6. 방영



1심 판결

주 문

1. 원고들의 주위적 피고 광주광역시 및 예비적 피고 광주광역시 동구에 대한 청구를 모두 기각한다.
2. 소송비용은 보조참가로 인한 비용을 포함하여 모두 원고들이 부담한다.

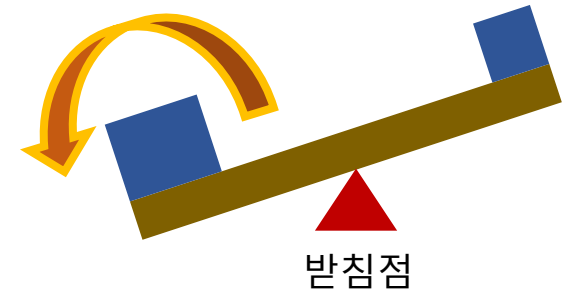
○ 판단

앞서 인정한 사실 및 앞서 든 증거들, 변론 전체의 취지에 의하여 인정되는 다음과 같은 사실 또는 사정, 즉 ① 이 사건 도로와 난간이 설치될 당시에는 난간 및 보행자용 방호울타리의 표준 높이에 관한 지침이 없었고, 피고는 2016년 행정사무감사에서 지적된 이후 예산을 확보하여 2018년부터 이 사건 난간의 보강공사를 진행할 계획을 세웠던 점, ② 관련 지침에서 표준 높이를 110cm로 정하고 있기는 하나 이 사건 난간의 높이인 약 90cm와 20cm 정도 차이가 난다는 점이 이 사건 사고 발생에 결정적인 영향을 주었으리라고 보이지는 않는 점, ③ 이 사건 도로 및 난간은 1987. 9. 1.에 준공되었는데, 그 이후 이 사건 변론종결일 현재에 이르기까지 약 34년 동안 이 사건 사고 외에 다른 추락사고가 발생한 적은 없는 것으로 보이는 점 등에 비추어 볼 때, 이 사건 난간의 높이가 110cm에 이르지 못한다는 사정만으로 이 사건 난간 및 도로가 통상 요구되는 안전성을 갖추지 못한 상태에 있었다고 단정하기 어렵다.

구토 자세

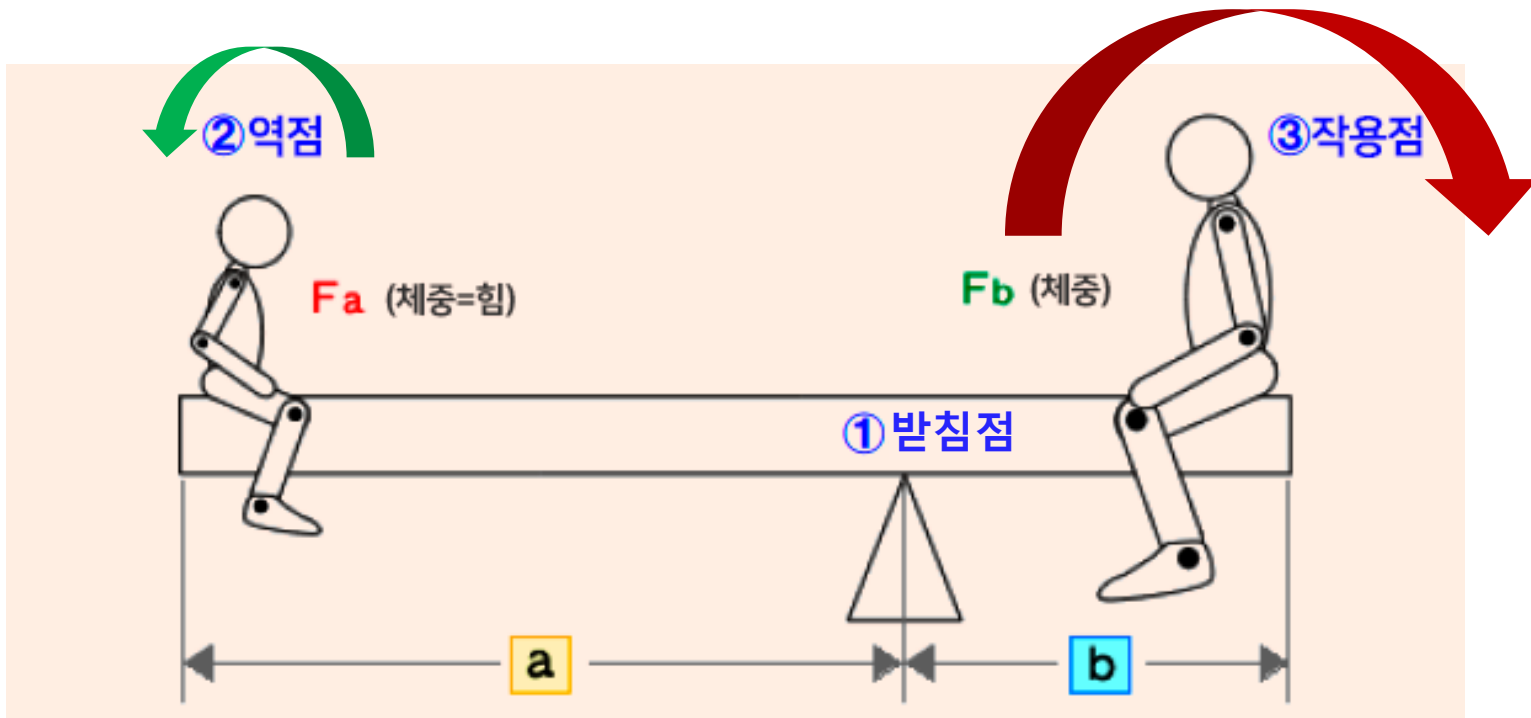
□ 구토 자세 특징

- (1) 상체를 앞으로 숙임
- (2) 지면으로부터 발 뒤꿈치 들림
- (3) 몸의 무게중심 앞으로 이동
- (4) 머리 방향으로 회전력 발휘
- (5) 자세제어, 평형감각, 반사신경 저하 상태
- (6) 난간 상부를 받침점(fulcrum)으로 하여 머리 방향 회전 발생



분석 방법: 모멘트 및 전도위험 분석

- 받침점(fulcrum)을 중심으로 모멘트(moment) 계산을 통한 전도 위험 (forward falling risk) 계산



신체부위별 길이, 무게중심위치, 무게 추정

1. Drillis & Contini (1966)						
2. Plagenhoef et al. (1983)						
		신장(cm)	167.0			무게(kg)
신체 부위	부위별 길이		부위별 무게중심 위치			부위별 무게
	신장대비 %	길이(cm)	길이대비 %	무게중심 위치	CM 기준	무게(kg)
머리+몸통(whole trunk)¹	47.00	78.5	63.0	49.4	머리마루점	35.8
머리/목(head & neck) ¹	13.00	21.7	55.0	11.9	머리마루점	5.4
몸통(trunk: 고관절-어깨) ¹	34.00	56.8	54.8	31.1	목	30.4
흉부(thorax) ²	14.35	24.0	56.7	13.6	목	13.1
복부(abdomen) ²	9.15	15.3	54.0	8.3	가슴수준	8.5
둔부(pelvis) ²	10.50	17.5	95.0	16.7	허리수준	8.9
위팔(upper arm) ¹	18.80	31.4	43.6	13.7	어깨	4.2
아래팔 forearm) ¹	14.50	24.2	43.0	10.4	팔목	2.4
손(hand: 손목-무게중심) ¹	10.80	18.0	46.8	8.4	손목	0.8
위다리(thigh)¹	24.50	40.9	43.3	17.7	고관절	13.7
아래다리(shank)¹	24.60	41.1	43.4	17.8	무릎	6.2
발 높이(foot height)¹	3.90	6.5	50.0	3.3	발목	1.9
발 너비(foot breadth) ¹	5.50	9.2	-	-	-	-
발 길이(foot length) ¹	15.20	25.4	42.9	10.9	발꿈치	-
합 계	100.00	167.0	-	-	-	65.0

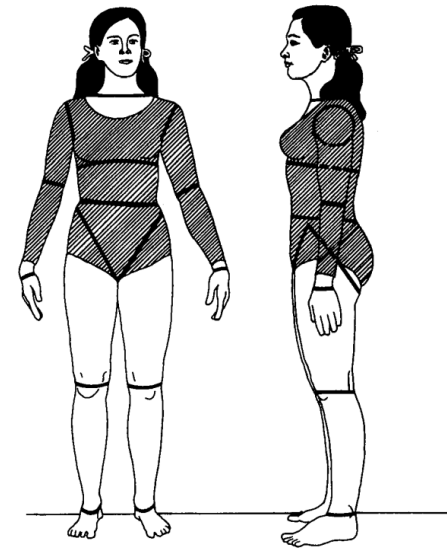


Figure 1—Sixteen body segments.

1. Drillis & Contini (1966). Body Segment Parameters, DHEW 1166-03. New York University, School of Engineering and Science.
2. Plagenhoef et al. (1983). Anatomical data for analyzing human motion. Research Quarterly For Exercises and Sport, 52(2), 169-178.

신체부위별 길이 추정

1. Drillis & Contini (1966)		
2 Plagenhoef et al. (1983)		
	신장 (cm)	167.0
신체 부위	%	길이 (cm)
머리+몸통(whole trunk)¹	47.00	78.5
머리/목(head & neck) ¹	13.00	21.7
몸통(trunk: 고관절-어깨) ¹	34.00	56.8
흉부(thorax) ²	14.35	24.0
복부(abdomen) ²	9.15	15.3
둔부(pelvis) ²	10.50	17.5
위팔(upper arm) ¹	18.80	31.4
아래팔(forearm) ¹	14.50	24.2
손(hand: 손목-무게중심) ¹	10.80	18.0
위다리(thigh) ¹	24.50	40.9
아래다리(shank) ¹	24.60	41.1
발 높이(foot height)¹	3.90	6.5
발 너비(foot breadth) ¹	5.50	9.2
발 길이(foot length) ¹	15.20	25.4
합 계	100.00	167.0

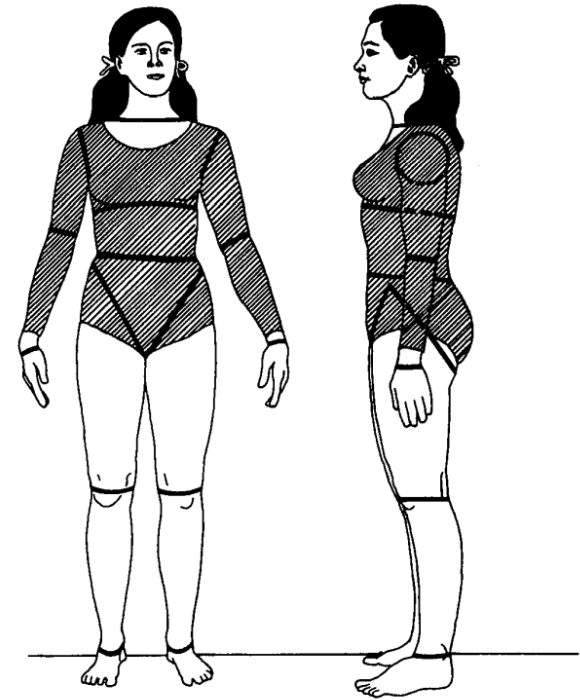


Figure 1—Sixteen body segments.

신체부위별 무게중심위치 추정

1. Drillis & Contini (1966)					
2 Plagenhoef et al. (1983)	신장(cm)	167.0			무게(kg)
신체 부위	부위별 길이		부위별 무게중심 위치		
	신장대비 %	길이(cm)	길이대비 %	무게중심 위치	CM 기준
머리+몸통(whole trunk)¹	47.00	78.5	63.0	49.4	머리마루점
머리/목(head & neck) ¹	13.00	21.7	55.0	11.9	머리마루점
몸통(trunk: 고관절-어깨) ¹	34.00	56.8	54.8	31.1	목
흉부(thorax) ²	14.35	24.0	56.7	13.6	목
복부(abdomen) ²	9.15	15.3	54.0	8.3	가슴수준
둔부(pelvis) ²	10.50	17.5	95.0	16.7	허리수준
위팔(upper arm) ¹	18.80	31.4	43.6	13.7	어깨
아래팔(forearm) ¹	14.50	24.2	43.0	10.4	팔목
손(hand: 손목-무게중심) ¹	10.80	18.0	46.8	8.4	손목
위다리(thigh) ¹	24.50	40.9	43.3	17.7	고관절
아래다리(shank) ¹	24.60	41.1	43.4	17.8	무릎
발 높이(foot height) ¹	3.90	6.5	50.0	3.3	발목
발 너비(foot breadth) ¹	5.50	9.2	-	-	-
발 길이(foot length) ¹	15.20	25.4	42.9	10.9	발꿈치
합 계	100.00	167.0	-	-	-

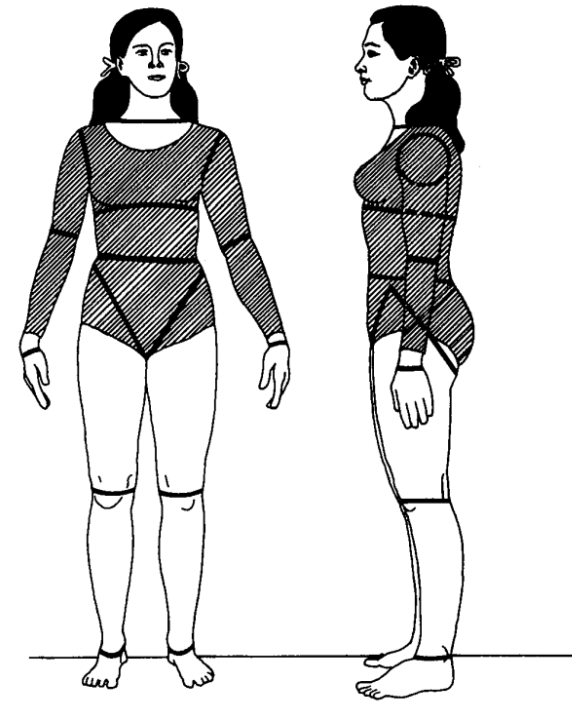


Figure 1—Sixteen body segments.

신체부위별 무게 추정

*Plagenhoef et al. (1983)		몸무게 (kg)		65.0
부위	%*	개수	%	무게 (kg)
머리+몸통(whole trunk)	55.10	1	55.10	35.8
머리/목(head & neck)	8.27	1	8.27	5.4
몸통(trunk)	46.83	1	46.83	30.4
흉부(thorax)	20.11	1	20.11	13.1
복부(abdomen)	13.06	1	13.06	8.5
둔부(pelvis)	13.66	1	13.66	8.9
위팔(upper arm)	3.25	2	6.50	4.2
아래팔(forearm)	1.87	2	3.74	2.4
손(hand)	0.65	2	1.30	0.8
위다리(thigh)	10.50	2	21.00	13.7
아래다리(shank)	4.75	2	9.50	6.2
발(foot)	1.43	2	2.86	1.9
합 계	-	-	100.0	65.0

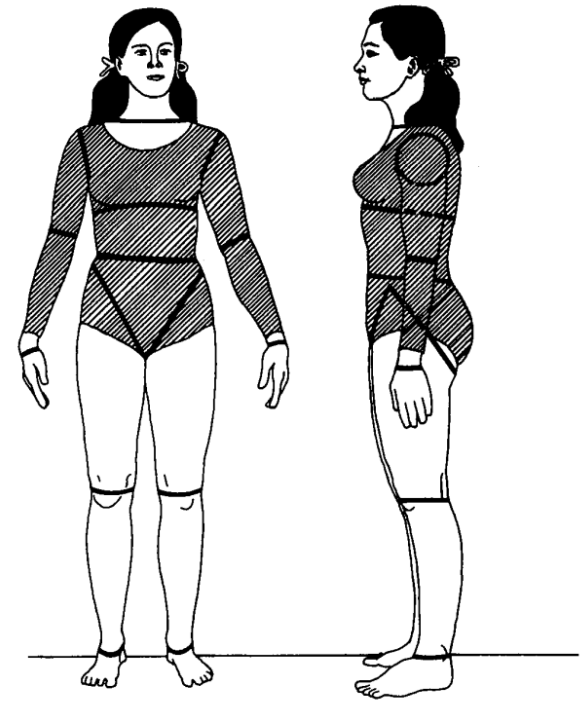
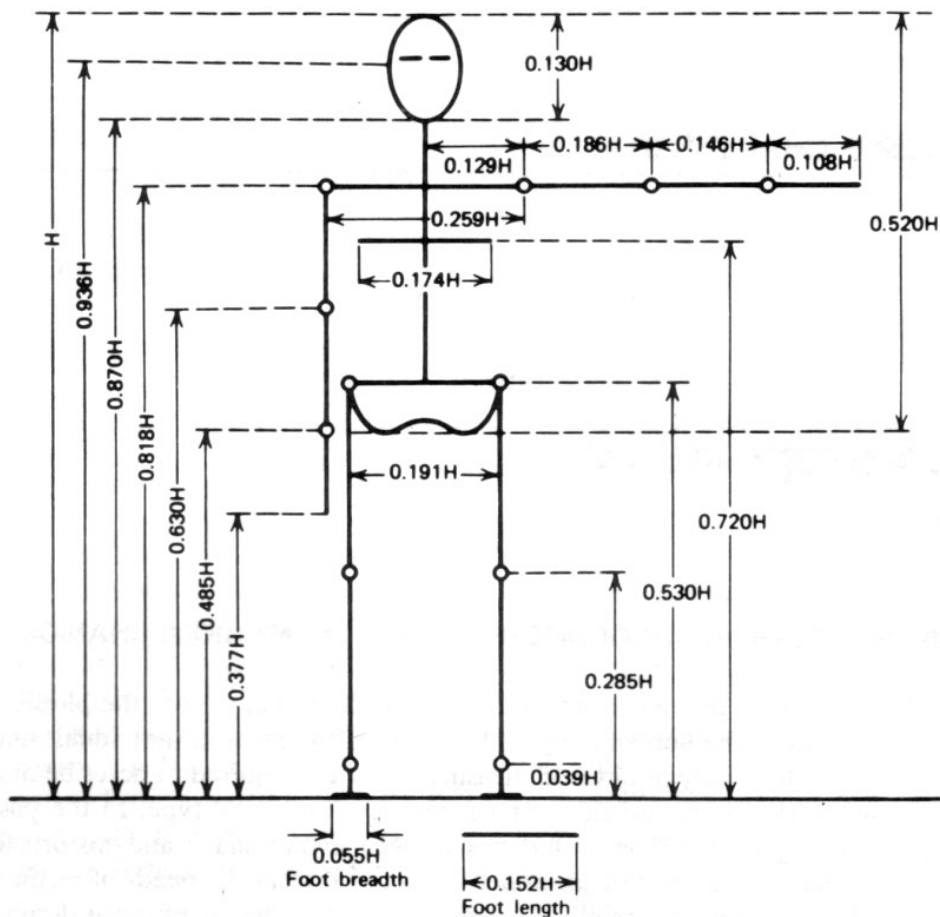


Figure 1—Sixteen body segments.

신체부위 정보 추정 (1/3)

Drillis & Contini (1966). Body Segment Parameters, DHEW 1166-03. New York University, School of Engineering and Science.



Segment	Segment Length (Fraction•H)
Hand	0.108H
Lower arm	0.146H
Arm	0.186H
Foot height	0.039H
Foot breadth	0.055H
Foot length	0.152H
Shank	0.246H
Thigh	0.245H
Neck	0.052H
Head	0.13H
Trunk	0.288H

신체부위 정보 추정 (2/3)

Plagenhoef et al. (1983). Anatomical data for analyzing human motion. Research Quarterly For Exercises and Sport, 52(2), 169-178.

Table 4
Segment Weights as Percentages of Total Body Weight

One segment	Men N = 35		Women N = 100	
	Mean	SD	Mean	SD
Hand	0.65%	0.06%	0.5%	0.026%
Forearm	1.87	0.2	1.57	0.1
Upper arm	3.25	0.49	2.9	0.32
Foot	1.43	0.13	1.33	0.02
Shank	4.75	0.53	5.35	0.47
Thigh	10.5	1.21	11.75	1.86
Whole trunk	55.1	2.75	53.2	4.64
Head and neck	8.26		8.2	
Thorax	20.1		17.02	
Abdomen	13.06		12.24	
Pelvis	13.66		15.96	

Table 5
Location of the Segment Center of Gravity
As a Percentage of the Segment Length

	Men N = 7		Women N = 9	
	Proximal	Distal	Proximal	Distal
Hand	46.8%	—	46.8%	—
Forearm	43.0	57.0	43.4	56.6
Upper arm	43.6	56.4	45.8	54.2
Foot	50.0	—	50.0	—
Shank	43.4	56.6	41.9	58.1
Thigh	43.3	56.7	42.8	57.2
Whole trunk ^a	63.0	37.0	56.9	43.1
Pelvis ^b	5.0	95.0	5.0	95.0
Abdomen	46.0	54.0	46.0	54.0
Thorax ^c	56.7	43.3	56.3	43.7
Head and neck ^d	55.0	45.0	55.0	45.0
Abdomen and pelvis ^e	44.5	55.5	39.0	61.0

^aHip joint to shoulder joint = 100%

^bHip joint to plane of umbilicus = 100%

^cPectoral line to shoulder joint (gleno-humeral) = 100%

^dTop of the head to 7th cervical = 100%

^eHip joint to T-11 = 100%

Table 8
Segment Length as a Percentage of Total Height

	Men N = 35	Women N = 73
Hand (to center of gravity)	5.75%	5.75%
Forearm	15.7	16.0
Upper arm	17.2	17.3
Foot (to center of gravity)	4.25	4.25
Shank	24.7	25.0
Thigh	23.2	24.9
Trunk (hip to shoulder)	30.0	29.0
Head and neck (to center of gravity)	10.75	10.75
Thorax	12.7	12.7
Abdomen	8.1	8.1
Pelvis	9.3	9.3
Shoulder to shoulder (gleno-hum)	24.5	20.0
Hip to hip	11.3	12.0

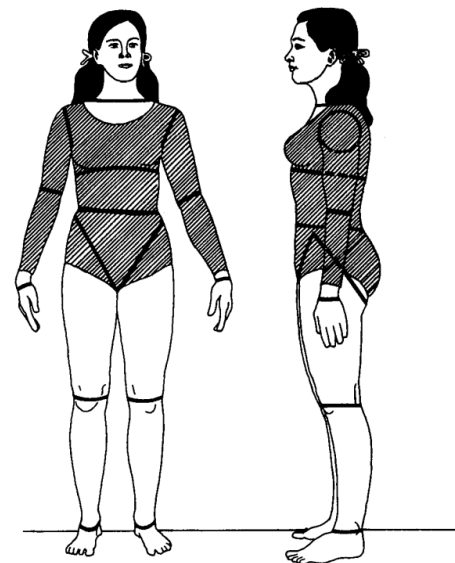


Figure 1—Sixteen body segments.

신체부위 정보 추정 (3/3)

Drills et al. (1964). Body segment parameters: A survey of measurement techniques. Artificial Limbs, 8, 44-66.

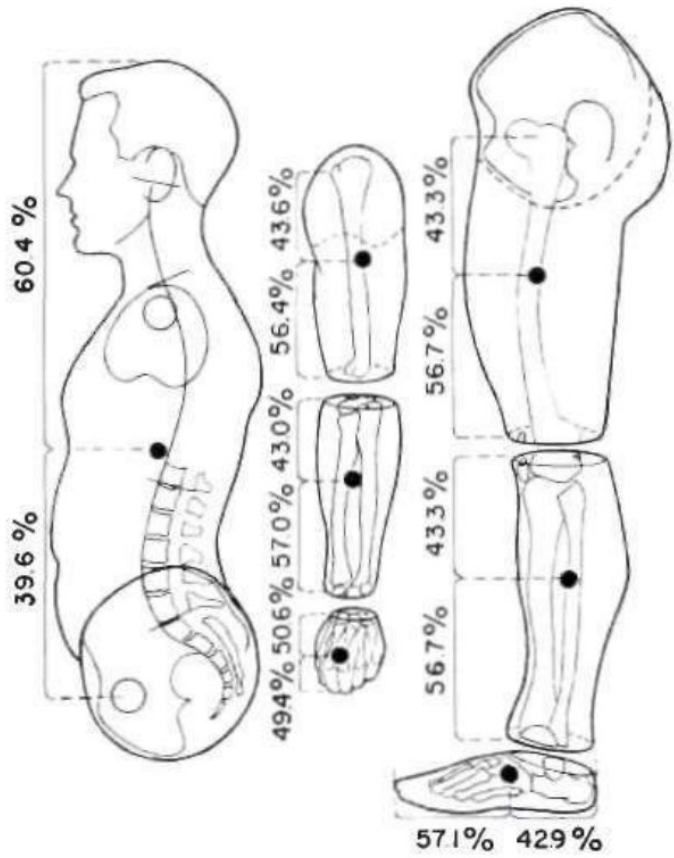
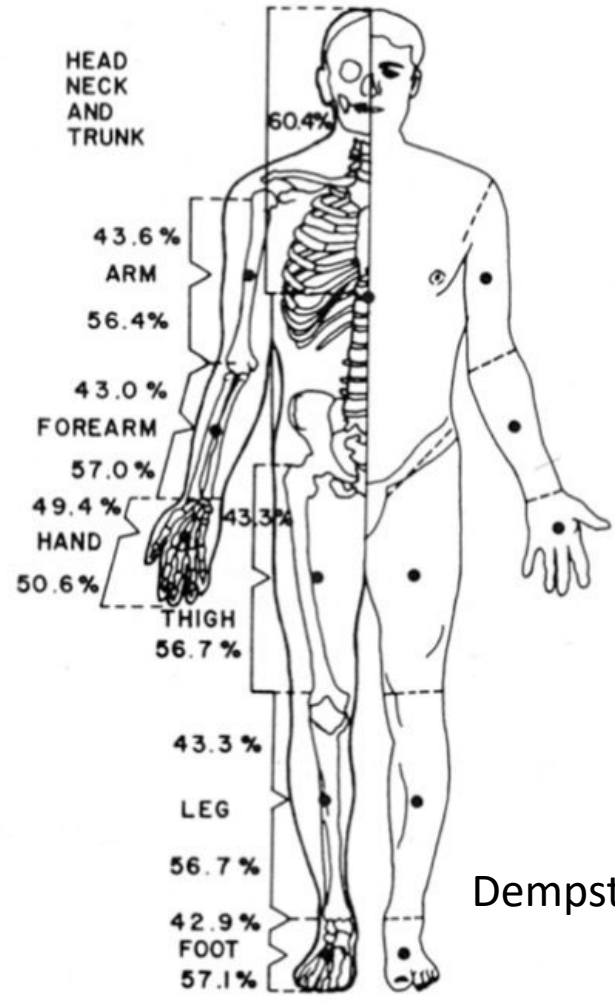
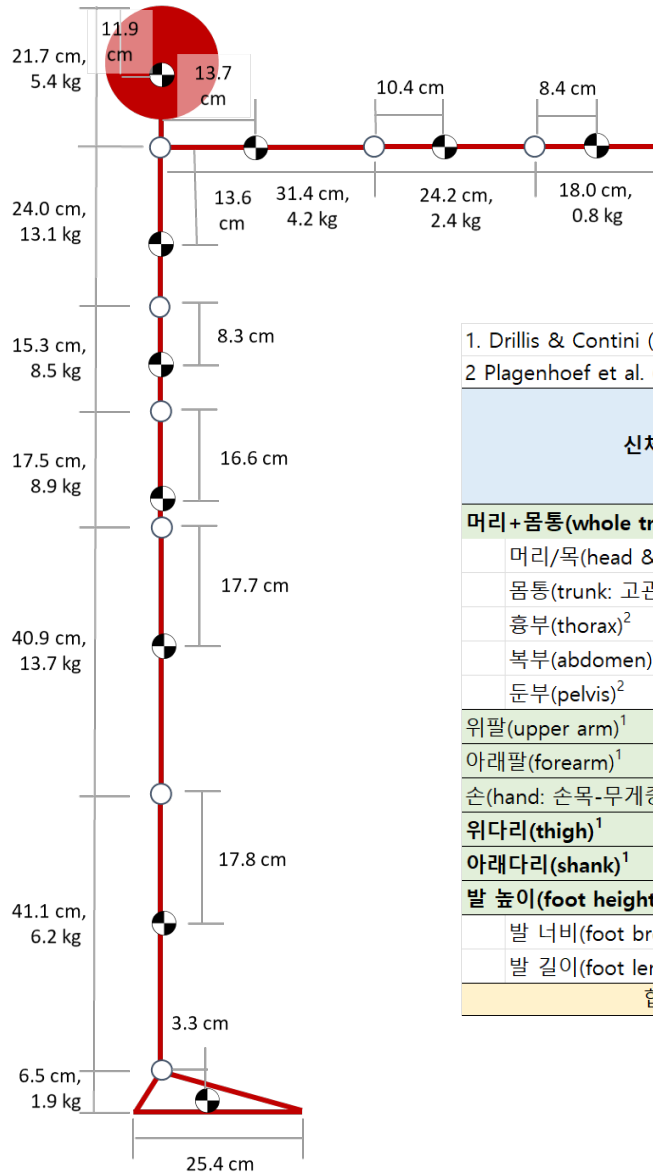


Fig. 9. Location of mass centers of body segments (After W. Dempster).



Dempster (1955)

Human Stick Model



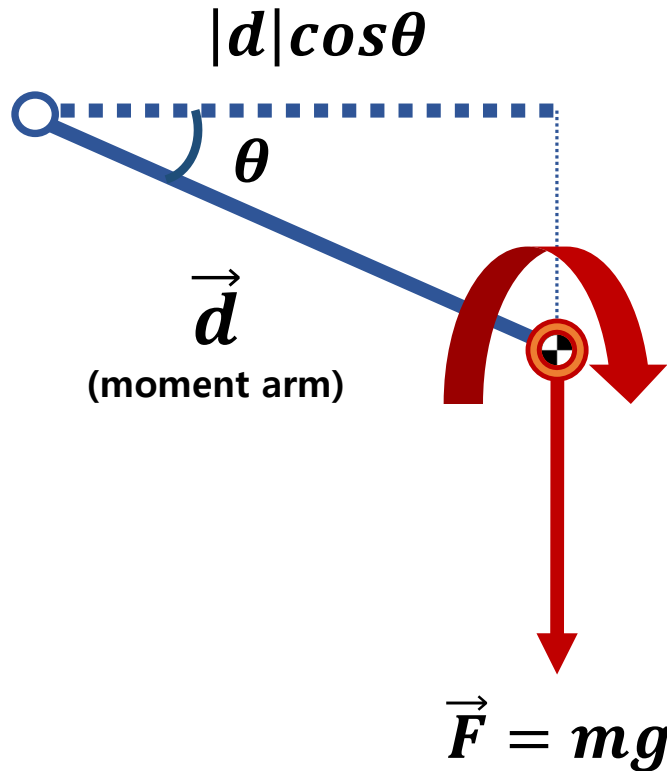
1. Drillis & Contini (1966)							
2. Plagenhoef et al. (1983)		신장(cm)	167.0	무게(kg)		65.0	
신체 부위	부위별 길이		부위별 무게중심 위치			부위별 무게	
	신장대비 %	길이(cm)	길이대비 %	무게중심 위치	CM 기준	무게(kg)	
머리+몸통(whole trunk) ¹	47.00	78.5	63.0	49.4	머리마루점	35.8	
머리/목(head & neck) ¹	13.00	21.7	55.0	11.9	머리마루점	5.4	
몸통(trunk: 고관절-어깨) ¹	34.00	56.8	54.8	31.1	목	30.4	
흉부(thorax) ²	14.35	24.0	56.7	13.6	목	13.1	
복부(abdomen) ²	9.15	15.3	54.0	8.3	가슴수준	8.5	
둔부(pelvis) ²	10.50	17.5	95.0	16.7	허리수준	8.9	
위팔(upper arm) ¹	18.80	31.4	43.6	13.7	어깨	4.2	
아래팔(forearm) ¹	14.50	24.2	43.0	10.4	팔목	2.4	
손(hand: 손목-무게중심) ¹	10.80	18.0	46.8	8.4	손목	0.8	
위다리(thigh) ¹	24.50	40.9	43.3	17.7	고관절	13.7	
아래다리(shank) ¹	24.60	41.1	43.4	17.8	무릎	6.2	
발 높이(foot height) ¹	3.90	6.5	50.0	3.3	발목	1.9	
발 너비(foot breadth) ¹	5.50	9.2	-	-	-	-	
발 길이(foot length) ¹	15.20	25.4	42.9	10.9	발꿈치	-	
합 계	100.00	167.0	-	-	-	65.0	

전도위험 분석결과: 종합

□ 난간 상부를 받침점으로 하여 모멘트 계산을 통한 전도 위험 파악

난간 높이 (cm)	무게 (kg)		모멘트 (N·m)			전도 위험	
	난간 도로쪽	난간 천변쪽	난간 도로쪽	난간 천변쪽	비율	평상 시	구토 시
90	31.4	33.6	26.9 <	100.3	3.7	매우 높음	극도로 높음
100	33.8	31.2	37.6 <	58.8	1.6	다소 높음	매우 높음
110	43.7	21.3	43.0 >	30.2	0.7	없음	다소 낮음
120	59.6	5.4	58.7 >	6.1	0.1	없음	낮음

모멘트 (Moment) 계산 공식

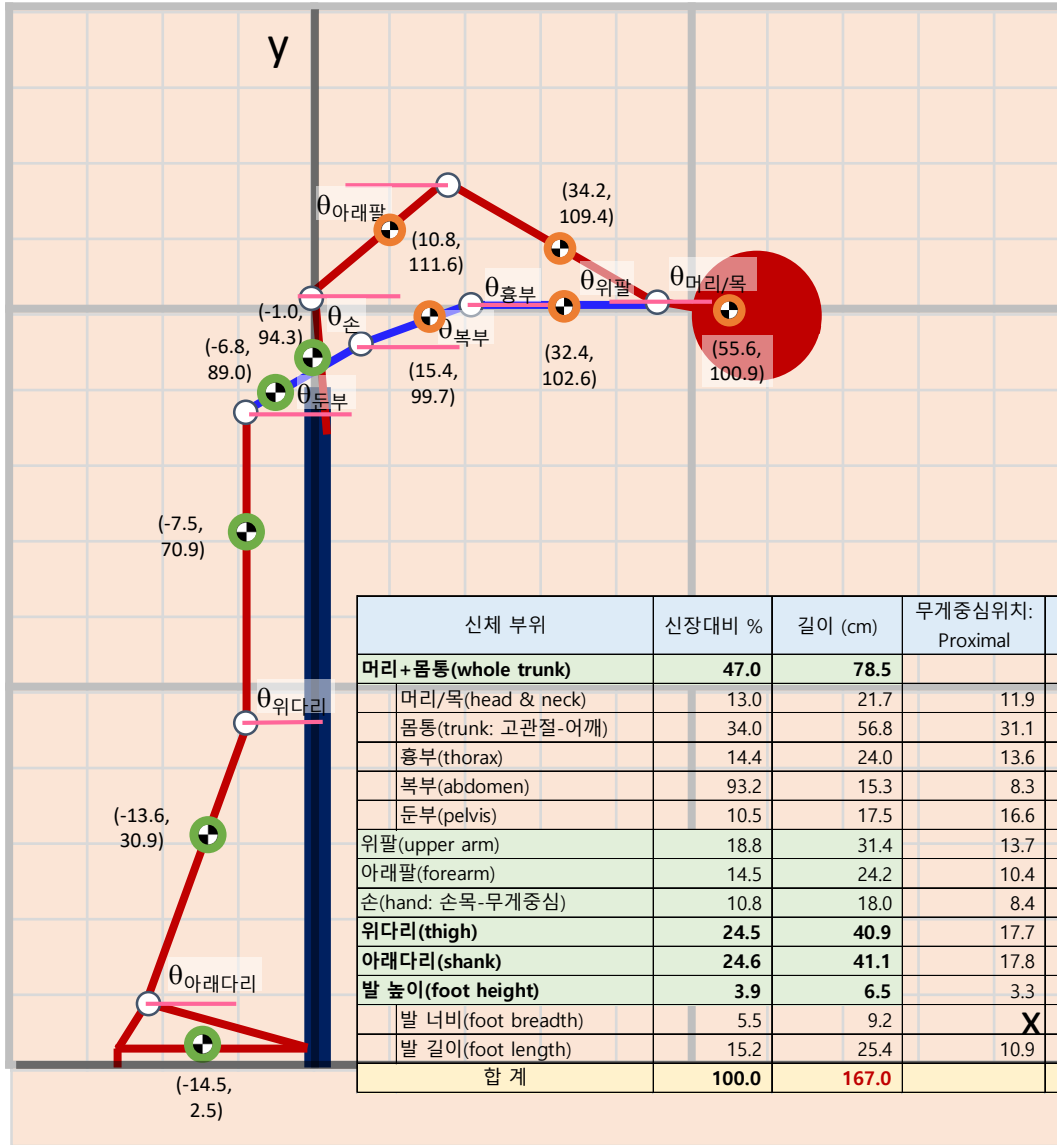


$$\vec{M} = \vec{d} \times \vec{F}$$

모멘트 크기

$$\begin{aligned}
 |M| &= |d|\cos\theta \cdot |F| \\
 &= |d|\cos\theta \cdot mg
 \end{aligned}$$

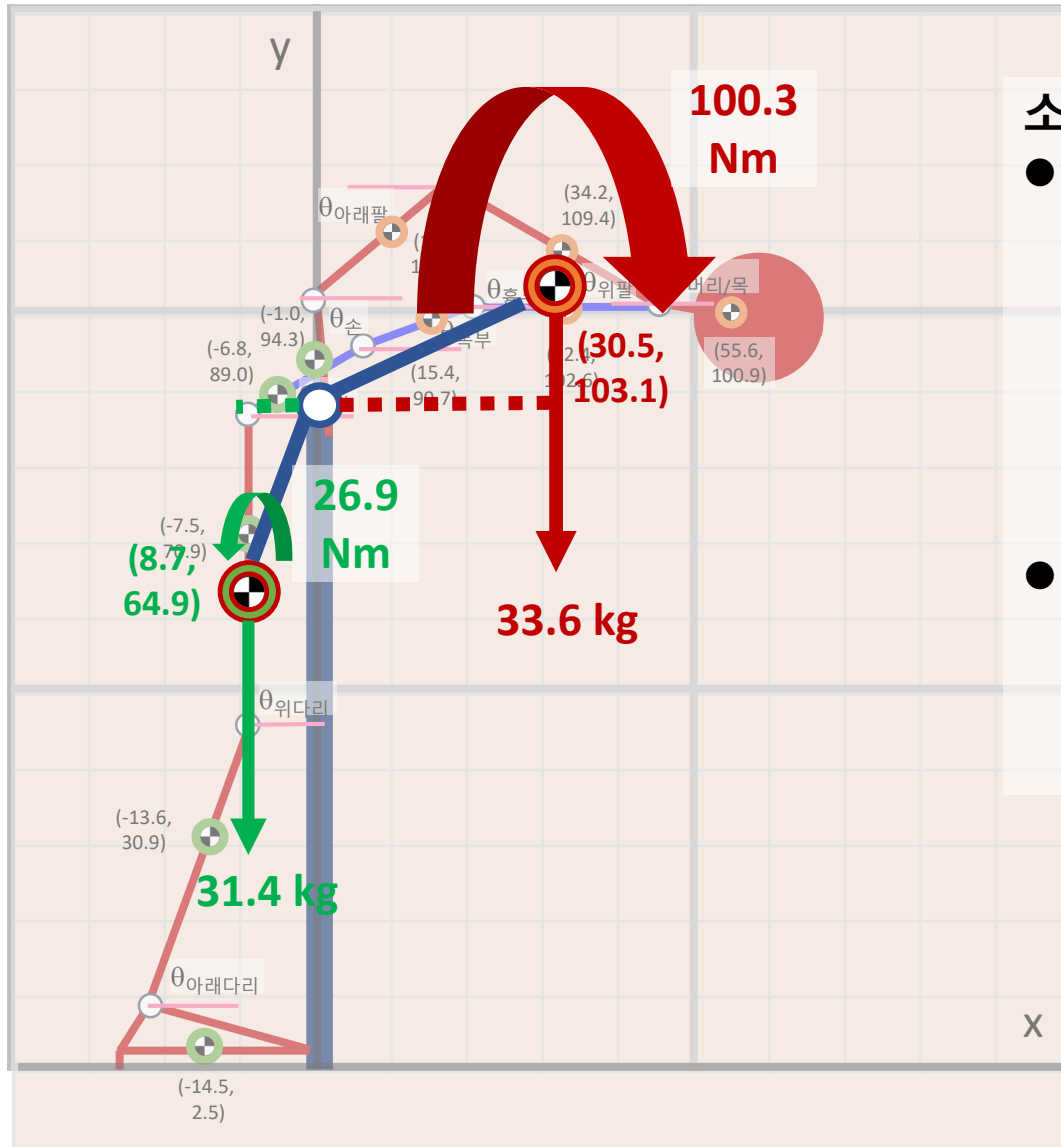
전도위험 분석: 난간 높이 90 cm



물리량	난간 도로쪽	난간 천변쪽
무게(kg)	31.4	33.6
모멘트-X축(Nm) (난간 기준)	-26.9	100.3
모멘트-Y축(Nm) (지면 기준)	199.8	339.3
무게중심-X축 (cm)	-8.7	30.5
무게중심-Y축 (cm)	64.9	103.1

신체 부위	신장대비 %	길이 (cm)	무게중심위치: Proximal	무게중심위치: Distal	각도 (지면기준)	무게(kg)	무게중심x	무게중심y	Moment-x (N.m)	Moment-y (N.m)
머리 + 몸통(whole trunk)	47.0	78.5				35.8				
머리/목(head & neck)	13.0	21.7	11.9	9.8	10.0	5.4	55.6	100.9	29.3	53.1
몸통(trunk: 고관절-어깨)	34.0	56.8	31.1	25.7		30.4				
허부(thorax)	14.4	24.0	13.6	10.4	0.0	13.1	32.4	102.6	41.5	131.4
복부(abdomen)	93.2	15.3	8.3	7.0	20.0	8.5	15.4	99.7	12.8	83.0
둔부(pelvis)	10.5	17.5	16.6	0.9	30.0	8.9	-6.8	89.0	-5.9	77.5
위팔(upper arm)	18.8	31.4	13.7	17.7	30.0	4.2	34.2	109.4	14.1	45.3
아래팔(forearm)	14.5	24.2	10.4	13.8	40.0	2.4	10.8	111.6	2.6	26.6
손(hand: 손목-무게중심)	10.8	18.0	8.4	9.6	85.0	0.8	-1.0	94.3	-0.1	7.8
위다리(thigh)	24.5	40.9	17.7	23.2	90.0	13.7	-7.5	70.9	-10.1	94.8
아래다리(shank)	24.6	41.1	17.8	23.3	70.0	6.2	-13.6	30.9	-8.2	18.7
발 높이(foot height)	3.9	6.5	3.3	3.3		1.9	-14.5	5.8	-2.6	1.1
발 너비(foot breadth)	5.5	9.2	X							
발 길이(foot length)	15.2	25.4	10.9	14.5			-14.5	2.5		
합계	100.0	167.0				65.0				

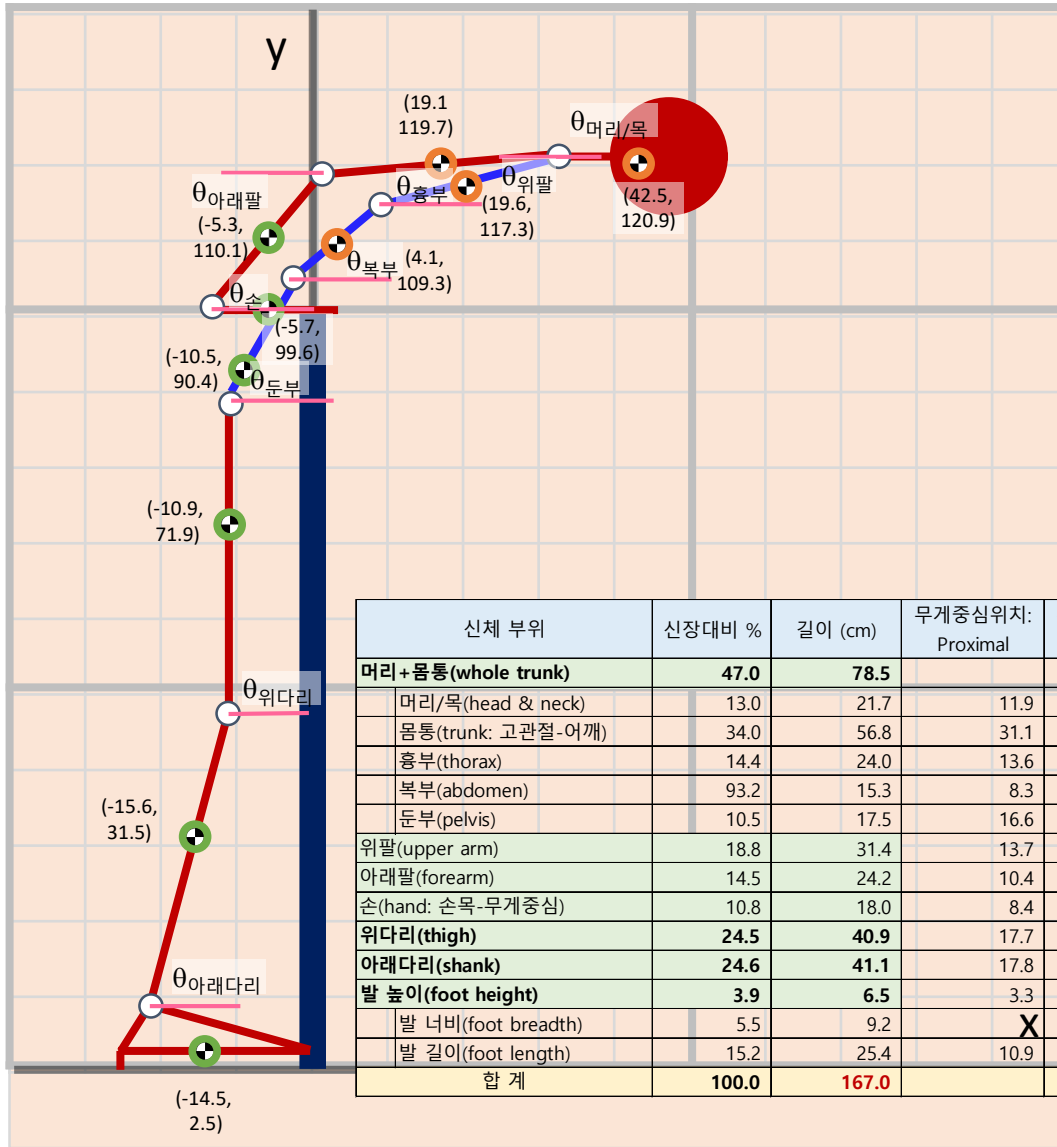
전도위험 해석: 난간 높이 90 cm



소결론

- 난간 천변쪽 모멘트(100.3 Nm)가 난간 도로쪽 모멘트(26.9 Nm)에 비해 3.7배로 높아 평형유지를 위한 자세유지 조정 기능을 발휘하지 않으면 난간 **천변쪽으로의 전도 위험이 매우 높음.**
- 구토로 인해 난간 천변쪽으로 **추력을 가하면 난간 천변쪽으로의 전도 위험은 극도로 높아짐.**

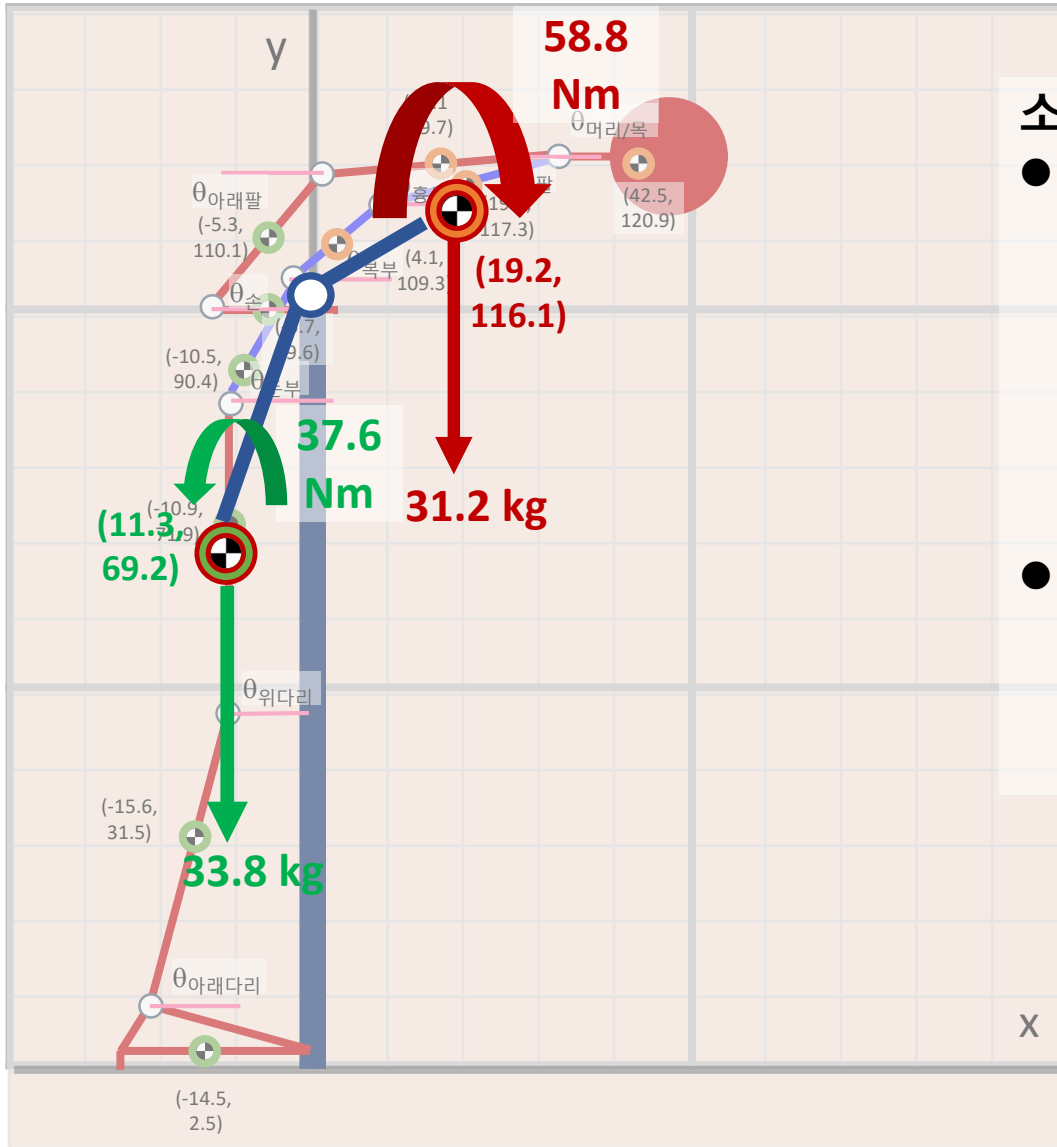
전도위험 분석: 난간 높이 100 cm



물리량	난간 도로쪽	난간 천변쪽
무게(kg)	33.8	31.2
모멘트-X축(Nm) (난간 기준)	-37.6	58.8
모멘트-Y축(Nm) (지면 기준)	229.5	354.5
무게중심-X축 (cm)	-11.3	19.2
무게중심-Y축 (cm)	69.2	116.1

신체 부위	신장대비 %	길이 (cm)	무게중심위치: Proximal	무게중심위치: Distal	각도 (지면기준)	무게(kg)	무게중심x	무게중심y	Moment-x (N.m)	Moment-y (N.m)
머리+몸통(whole trunk)	47.0	78.5				35.8				
머리/목(head & neck)	13.0	21.7	11.9	9.8	0.0	5.4	42.5	120.9	22.4	63.7
몸통(trunk: 고관절-어깨)	34.0	56.8	31.1	25.7		30.4				
흉부(thorax)	14.4	24.0	13.6	10.4	15.0	13.1	19.6	117.3	25.1	150.3
복부(abdomen)	93.2	15.3	8.3	7.0	40.0	8.5	4.1	109.3	3.4	91.0
둔부(pelvis)	10.5	17.5	16.6	0.9	60.0	8.9	-10.5	90.4	-9.1	78.7
위팔(upper arm)	18.8	31.4	13.7	17.7	-5.0	4.2	19.1	119.7	7.9	49.5
아래팔(forearm)	14.5	24.2	10.4	13.8	50.0	2.4	-5.3	110.1	-1.3	26.2
손(hand: 손목-무게중심)	10.8	18.0	8.4	9.6	0.0	0.8	-5.7	99.6	-0.5	8.2
위다리(thigh)	24.5	40.9	17.7	23.2	90.0	13.7	-10.9	71.9	-14.6	96.2
아래다리(shank)	24.6	41.1	17.8	23.3	75.0	6.2	-15.6	31.5	-9.4	19.1
발 높이(foot height)	3.9	6.5	-3.3	3.3		1.9	-14.5	5.8	-2.6	1.1
발 너비(foot breadth)	5.5	9.2	X							
발 길이(foot length)	15.2	25.4	10.9	14.5			-14.5	2.5		
합계	100.0	167.0				65.0				

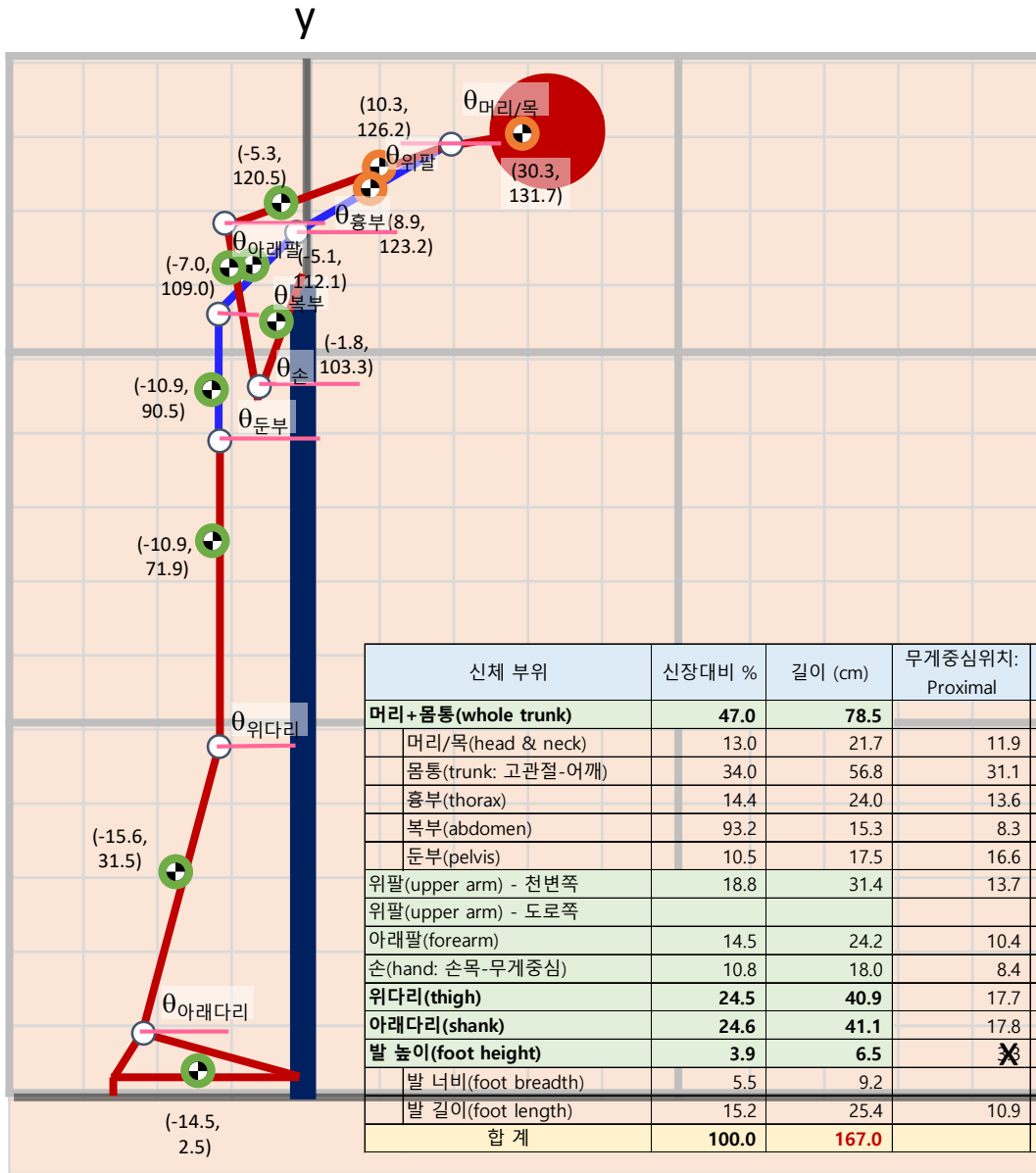
전도위험 해석: 난간 높이 100 cm



소결론

- 난간 천변쪽 모멘트(58.8 Nm)가 난간 도로쪽 모멘트(37.6 Nm)에 비해 1.6배로 높아 평형유지를 위한 자세유지 조정 기능을 발휘하지 않으면 난간 **천변쪽으로의 전도 위험이 다소 높음.**
- 구토로 인해 난간 천변쪽으로 **추력을 가하면 난간 천변쪽으로의 전도 위험은 매우 높아짐.**

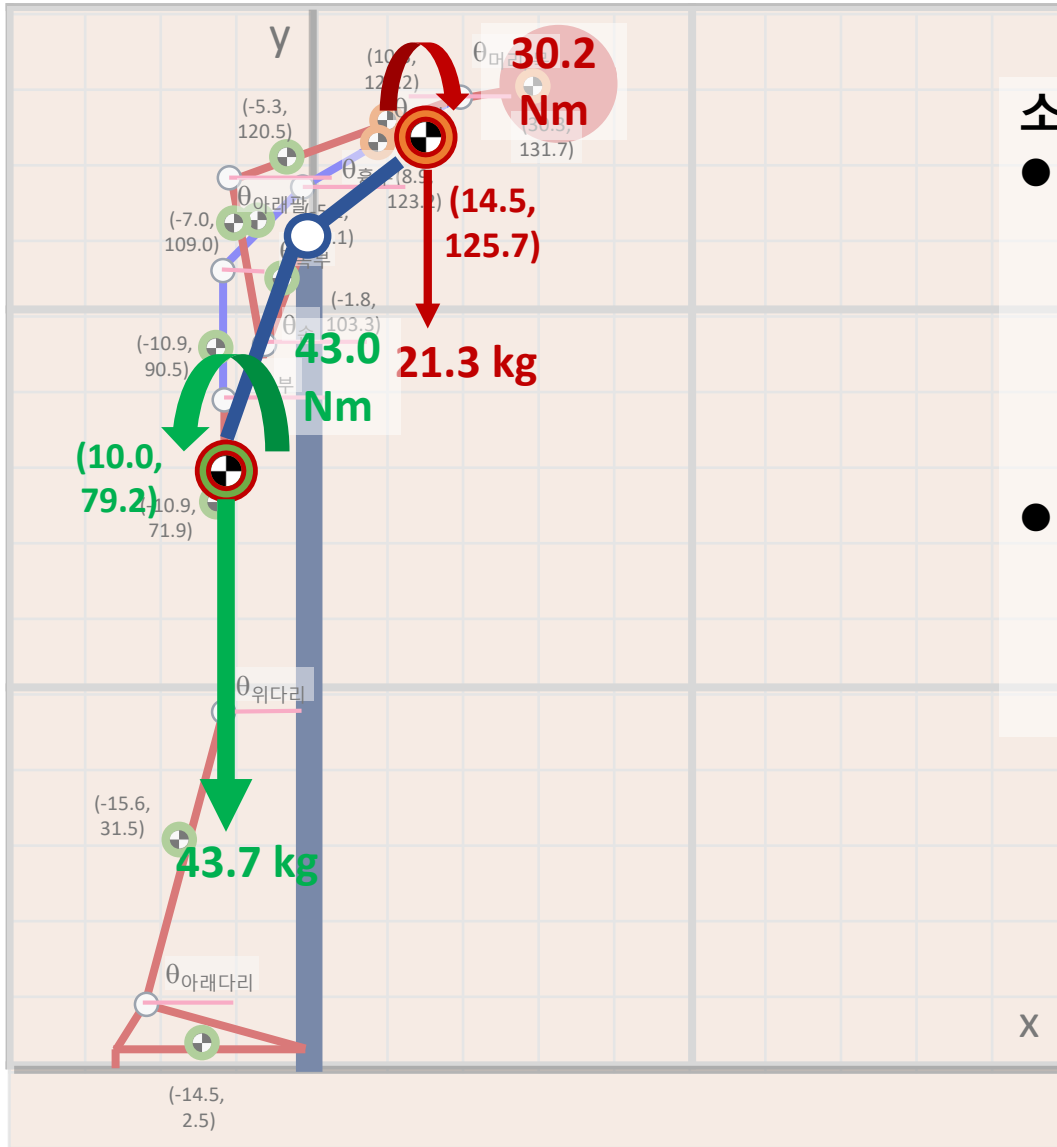
전도위험 분석: 난간 높이 110 cm



물리량	난간 도로쪽	난간 천변쪽
무게(kg)	43.7	21.3
모멘트-X축(Nm) (난간 기준)	-43.0	30.2
모멘트-Y축(Nm) (지면 기준)	339.6	262.0
무게중심-X축 (cm)	-10.0	14.5
무게중심-Y축 (cm)	79.2	125.7

신체 부위	신장대비 %	길이 (cm)	무게중심위치: Proximal	무게중심위치: Distal	각도 (지면기준)	무게(kg)	무게중심x	무게중심y	Moment-x (N.m)	Moment-y (N.m)
머리+몸통(whole trunk)	47.0	78.5				35.8				
머리/목(head & neck)	13.0	21.7	11.9	9.8	10.0	5.4	30.3	131.7	16.0	69.4
몸통(trunk: 고관절-어깨)	34.0	56.8	31.1	25.7		30.4				
허부(thorax)	14.4	24.0	13.6	10.4	30.0	13.1	8.9	123.2	11.4	157.8
복부(abdomen)	93.2	15.3	8.3	7.0	45.0	8.5	-5.1	112.1	-4.2	93.3
둔부(pelvis)	10.5	17.5	16.6	0.9	90.0	8.9	-10.9	90.5	-9.5	78.8
위팔(upper arm) - 천변쪽	18.8	31.4	13.7	17.7	-20.0	2.8	10.3	126.2	2.8	34.8
위팔(upper arm) - 도로쪽					-20.0	1.4	-5.3	120.5	-0.7	16.6
아래팔(forearm)	14.5	24.2	10.4	13.8	80.0	2.4	-7.0	109.0	-1.7	26.0
손(hand: 손목-무게중심)	10.8	18.0	8.4	9.6	70.0	0.8	-1.8	103.3	-0.1	8.6
위다리(thigh)	24.5	40.9	17.7	23.2	90.0	13.7	-10.9	71.9	-14.6	96.2
아래다리(shank)	24.6	41.1	17.8	23.3	75.0	6.2	-15.6	31.5	-9.4	19.1
발 높이(foot height)	3.9	6.5	3.3	3.3		1.9	-14.5	5.8	-2.6	1.1
발 너비(foot breadth)	5.5	9.2								
발 길이(foot length)	15.2	25.4	10.9	14.5			-14.5	2.5		
합 계	100.0	167.0				65.0				

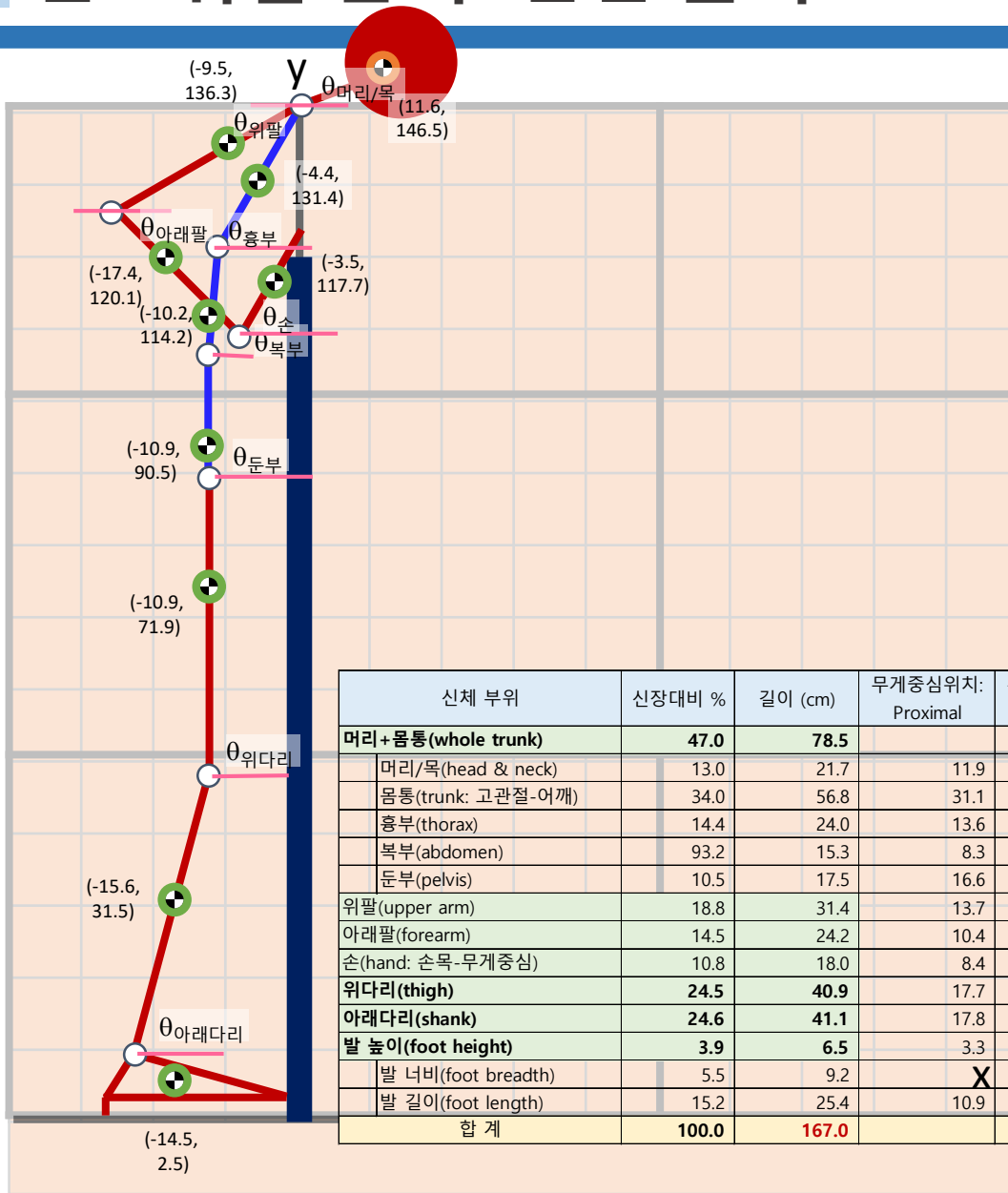
전도위험 해석: 난간 높이 110 cm



소결론

- 난간 천변쪽 모멘트(30.2 Nm)가 난간 도로쪽 모멘트(43.0 Nm)에 비해 0.7배로서 평형유지를 위한 자세유지 조정 기능을 발휘하지 않아도 난간 **천변쪽으로의 전도 위험이 없음.**
- 구도로 인해 난간 천변쪽으로 상당한 추력을 가하면 난간 **천변쪽으로의 전도 위험이 있을 수 있음.**

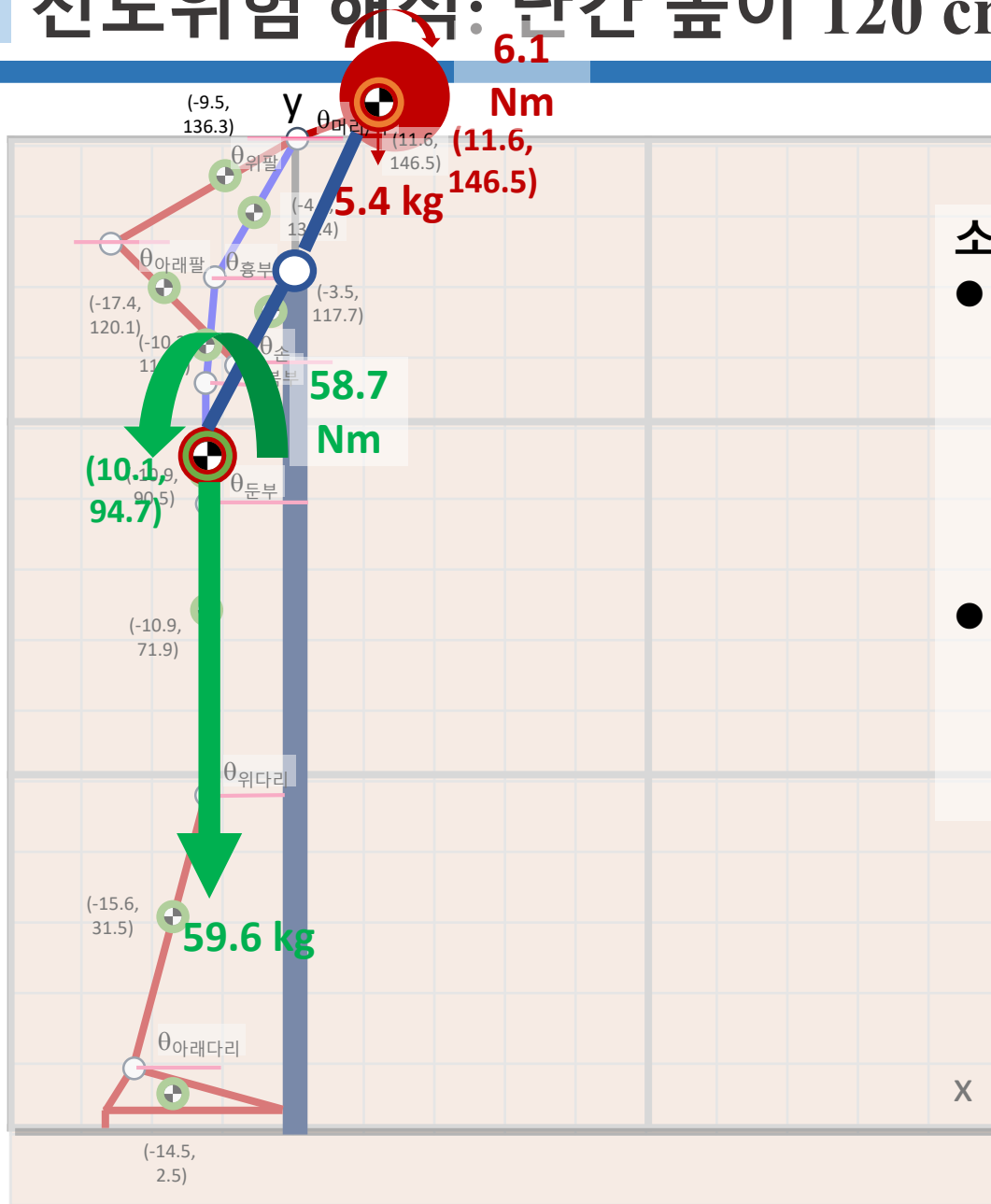
전도위험 분석: 난간 높이 120 cm



물리량	난간 도로쪽	난간 천변쪽
무게(kg)	59.6	5.4
모멘트-X축(Nm) (난간 기준)	-58.7	6.1
모멘트-Y축(Nm) (지면 기준)	553.2	77.2
무게중심-X축 (cm)	-10.1	11.6
무게중심-Y축 (cm)	94.7	146.5

신체 부위	신장대비 %	길이 (cm)	무게중심위치: Proximal	무게중심위치: Distal	각도 (지면기준)	무게(kg)	무게중심x	무게중심y	Moment-x (N.m)	Moment-y (N.m)
머리 + 몸통(whole trunk)	47.0	78.5				35.8				
머리/목(head & neck)	13.0	21.7	11.9	9.8	20.0	5.4	11.6	146.5	6.1	77.2
몸통(trunk: 고관절-어깨)	34.0	56.8	31.1	25.7		30.4				
흉부(thorax)	14.4	24.0	13.6	10.4	60.0	13.1	-4.4	131.4	-5.7	168.3
복부(abdomen)	93.2	15.3	8.3	7.0	85.0	8.5	-10.2	114.2	-8.5	95.0
둔부(pelvis)	10.5	17.5	16.6	0.9	90.0	8.9	-10.9	90.5	-9.5	78.8
위팔(upper arm)	18.8	31.4	13.7	17.7	-30.0	4.2	-9.5	136.3	-3.9	56.4
아래팔(forearm)	14.5	24.2	10.4	13.8	45.0	2.4	-17.4	120.1	-4.2	28.6
손(hand: 손목-무게중심)	10.8	18.0	8.4	9.6	60.0	0.8	-3.5	117.7	-0.3	9.7
위다리(thigh)	24.5	40.9	17.7	23.2	90.0	13.7	-10.9	71.9	-14.6	96.2
아래다리(shank)	24.6	41.1	17.8	23.3	75.0	6.2	-15.6	31.5	-9.4	19.1
발 높이(foot height)	3.9	6.5	-3.3	3.3		1.9	-14.5	5.8	-2.6	1.1
발 너비(foot breadth)	5.5	9.2	X							
발 길이(foot length)	15.2	25.4	10.9	14.5			-14.5	2.5		
합계	100.0	167.0				65.0				

전도위험 해석: 난간 높이 120 cm

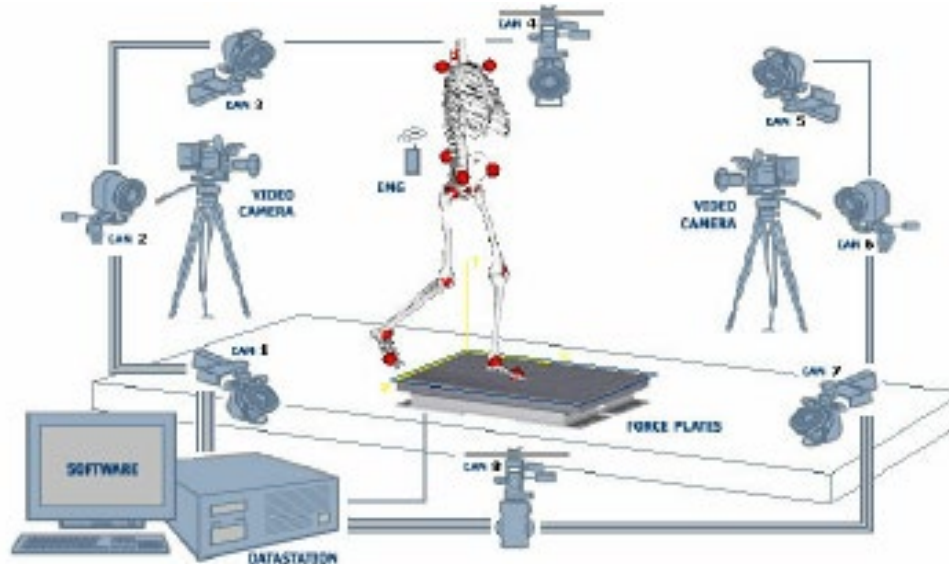


소결론

- 난간 천변쪽 모멘트(6.1 Nm)가 난간 도로쪽 모멘트(58.7 Nm)에 비해 0.1배로서 평형유지를 위한 자세유지 조정 기능을 발휘하지 않아도 난간 **천변쪽으로의 전도 위험이 없음.**
- 구도로 인해 난간에 몸통부를 두고 천변쪽으로 **매우 큰 추력을 가하면 난간 천변쪽으로의 전도 위험이 있을 수 있음.**

전도위험 검증

- 별도 실험 및 분석이 필요하며 **비용이 소요** 됨
 - (1) 난간 제작
 - (2) 자세 측정**(동작측정장치 사용)
 - (3) 무게중심 변동 측정**(force plate 사용)
 - (4) 성인 167cm를 대상으로 10회 반복 측정**
 - (5) 분석 내용: **난간 높이에 따른 자세 및 무게중심 변동**



결론

- 난간 상부를 받침점으로 한 모멘트 분석 결과는 방호울타리 표준높이 110 cm를 준수하지 않은 **사고 당시의 90 cm 높이의 방호울타리는 전도 추락사고 위험을 상당히 높은 객관적 책임 원인이 된다는 것을 보여 줌**

난간 높이 (cm)	무게 (kg)		모멘트 (N·m)			전도 위험	
	난간 도로쪽	난간 천변쪽	난간 도로쪽	난간 천변쪽	비율	정상 시	구토 시
90	31.4	33.6	26.9	< 100.3	3.7	매우 높음	극도로 높음
100	33.8	31.2	37.6	< 58.8	1.6	다소 높음	매우 높음
110	43.7	21.3	43.0	> 30.2	0.7	없음	다소 낮음
120	59.6	5.4	58.7	> 6.1	0.1	없음	낮음

2심 판결

② 아래와 같은 사정들을 고려하면, 이 사건 방호울타리의 높이 90cm는 그 자체로도 전도 및 추락 위험성이 높다고 볼 수 있어, 보행자용 방호울타리로서 통상 갖추어야 할 안전성을 갖추지 못하였다고 평가할 수 있다.

㉠ 포항공과대학교 산업경영공학과 인간공학설계기술연구실의 전도위험 분석 자료(갑 제33호증)에 의하면, 위 분석에서 신장 167cm, 체중 65kg의 사람이 방호울타리 바깥쪽으로 몸을 기대었을 경우, 방호울타리 높이가 90cm일 때 바깥쪽 모멘트가 100.3Nm, 안쪽 모멘트가 26.9Nm이고, 방호울타리 높이가 100cm일 때 바깥쪽 모멘트가 58.8Nm, 안쪽 모멘트가 37.6Nm이며, 방호울타리 높이가 110cm일 때 바깥쪽 모멘트가 30.2Nm, 안쪽 모멘트가 43.0Nm라는 결과를 얻었음을 알 수 있다(위 분석 결과는 구토 등이 고려되지 않은 것이고, 주취로 인한 구토를 고려하면 보다 바깥쪽 모멘트가 커진다는 취지이다). 이에 따르면 방호울타리 높이가 90cm와 110cm인 경우의 전도 위험성의 차이가 크고, 90cm인 경우 전도 위험성이 상당히 높아지는 것으로 보인다(갑 제40호증의 간이 실험 결과도 위 분석자료의 내용에 비추어 대체로 수긍할 수 있다).

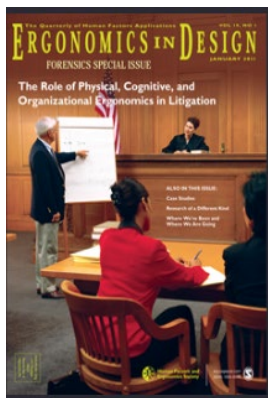
㉡ 일본도로협회의 '방호책 설치기준'(갑 제30호증의 2)의 기재 또한 "보행자의 추락을 방지하는 목적으로 설치하는 방호울타리의 높이는 성인남성의 중심높이와 자전거에 탑승한 성인남성의 중심높이를 함께 고려하여 보행자의 추락을 방지하기 위해 1.1m를 표준으로 하였다"는 것으로서, 위 분석 결과와 맥을 같이 한다.

법인간공학 (Forensic Ergonomics)

❑ **Forensics**: The art or study of formal debating, specifically pertaining to, connected with, or used in courts of law or public discussion and debate. More specifically, it relates to or deals with the **application of scientific knowledge to legal problems**.

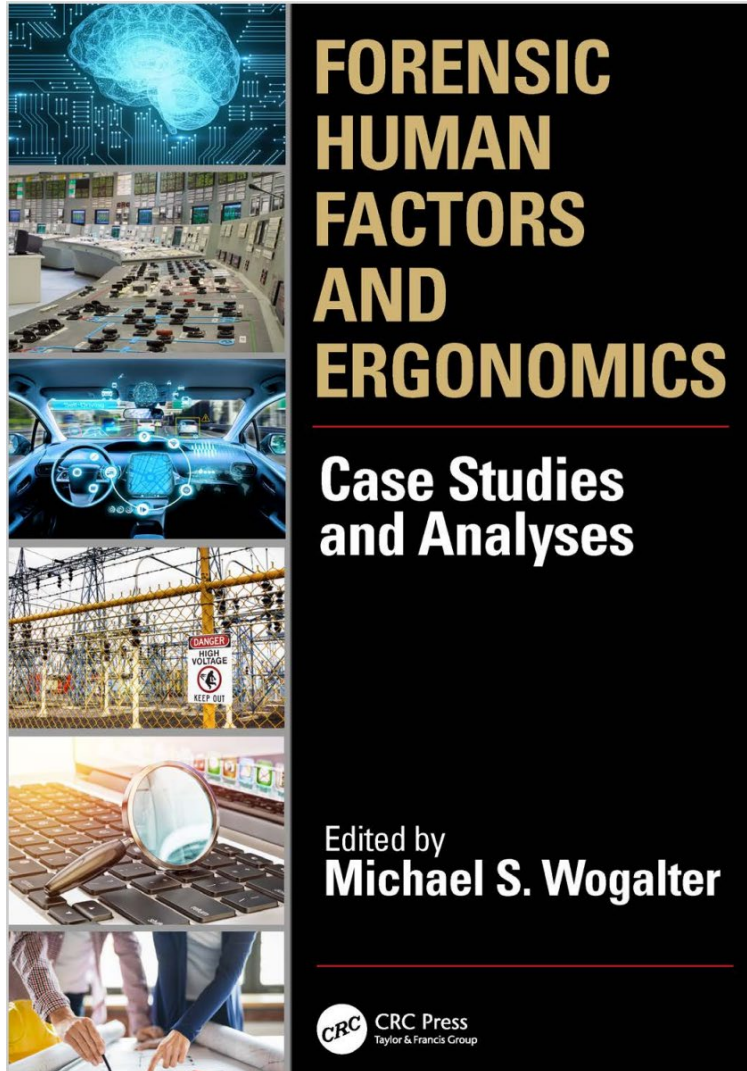
❑ Forensic Ergonomics

Most human factors/ergonomics (HF/E) practitioners are involved with designing tools, tasks, jobs, systems, and environments for safe and effective human use. Forensic HF/E practitioners, relatively few in number, evaluate these designs (often, designs that did not result from HF/E expertise) and user behavior when they fail and litigation ensues. The results of forensic HF/E practitioner involvement not only aids attorneys, judges, and juries during the litigation process but also may help prevent similar incidents from happening in the future.



Nemire (2011). Foreword to the Special Issue on Forensic Human Factors/Ergonomics. *Ergonomics in Design*, 19 (1), 3.

Wogalter et al. (2019)



Hazard control hierarchy with feedback loops



Contents

Contents

Human Factors and Ergonomics Book Series Foreword.....	ix
Foreword	xi
Preface.....	xiii
Editor.....	xvii
Contributors.....	xix

Section I Introductory Chapters

1. Introduction	3
<i>Michael S. Wogalter</i>	
2. Hazard Analysis and Hazard-Control Hierarchy	17
<i>Michael S. Wogalter</i>	
3. Communication-Human Information Processing (C-HIP) Model	33
<i>Michael S. Wogalter</i>	

Section II Case Study Chapters

4. Alternative Infant Sleep Products: Parent Lifesavers or Infant Death Traps	53
<i>Shelley Waters Deppa and Elaine D. Allen</i>	
5. A Hazard Hanging at the Window	69
<i>Carol Pollack-Nelson</i>	
6. Case of the Baby Sitter with No Restraint	91
<i>Christopher B. Mayhorn and Michael S. Wogalter</i>	
7. Not a Step!	105
<i>Michael J. Kalsher and Michael S. Wogalter</i>	
8. Colorful Rounded-Tip Scissors: Too Sharp for Children	123
<i>Alison G. Vredenburgh, Ilene B. Zackowitz, and Alexandra N. Vredenburgh</i>	
9. Following the Lead: Duped by Pipe Dope	135
<i>Michael S. Wogalter and Michael J. Kalsher</i>	
10. This Game Had a Bad Ending	149
<i>James M. Miller and Bradley T. Cook</i>	

11. A Close Brush with Death	163
<i>Michael S. Wogalter</i>	
12. The Medium is the Message: Warning Presentation Matters	179
<i>David R. Lenorovitz</i>	
13. Heavier Than Air	197
<i>Michael S. Wogalter, Kenneth R. Laughery, Sr., and Christopher B. Mayhorn</i>	
14. Over-Reaching Consequences	215
<i>Michael S. Wogalter and Tatyana Kildisheva</i>	
15. A Step in the Right Direction	231
<i>H. Harvey Cohen and Cindy A. LaRue</i>	
16. Don't Walk: Hazardous to Cross Mid-Block	243
<i>Ilene B. Zackowitz, Alison G. Vredenburgh, and Alexandra N. Vredenburgh</i>	
17. Beginning with a Malfunctioning Fuel Gauge and Ending with a Pedestrian Casualty	257
<i>Rudolf G. Mortimer</i>	
18. A Truck Driver's Dilemma	271
<i>Joseph Cohen and H. Harvey Cohen</i>	
19. ROPS, Seatbelts, and the Unexpected Rollover	283
<i>David R. Lenorovitz, Edward W. Karnes, and Michael S. Wogalter</i>	
20. Do Not Recline That Seat	303
<i>Kenneth R. Laughery, Sr. and Michael S. Wogalter</i>	
21. Working Out of View	315
<i>William J. Vigilante, Jr.</i>	

Section III Concluding Chapter

22. General Final Comments	339
<i>Michael S. Wogalter</i>	
Author Index	353
Subject Index	359

경청해 주셔서 감사합니다!



본 연구는 한국연구재단의 중견연구자 지원사업(NRF-2022R1A2C1013198), 국가표준기술개발 및 보급의 국가표준기술력 향상사업(20011781), 그리고 한국산업기술진흥원의 2023년 산업혁신인재성장 지원사업(P0008691)을 받아 수행된 연구임.