creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

의류학석사 학위논문

실증적 손실계수비를 적용한 전투용 장갑의 최적 사이즈 시스템 개발

2023년 2월

서울대학교 대학원

의류학과

홍 유 진

실증적 손실계수비를 적용한 전투용 장갑의 최적 사이즈 시스템 개발

지도 교수 최 희 은

이 논문을 의류학석사 학위논문으로 제출함
2022년 10월

서울대학교 대학원
의류학과
홍 유 진

홍유진의 석사 학위논문을 인준함
2023년 1월

위 원 장 _____ (인)

부위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

초 록

전투용 장갑은 착용 측면에서 우수한 맞음새를 제공하여 착용자의 임무 수행 능력을 높이고 안전 사고의 위험을 줄일 수 있어야 한다. 또한 생산과 보급 측면에서 적절한 사이즈 수로 전개한 사이즈 시스템을 제시하여 부가적인 생산 비용과 보급 상의 혼란을 방지해야 한다. 따라서 본 연구에서는 Park & Kim(1992)의 연구에서 제안한 손실함수 개념을 적용하여 사이즈 수가 제한된 상황에서 최선의 맞음새를 구현할 수 있는 전투용 장갑의 최적 사이즈 시스템을 제안하였으며, 이에 따라 심층 면접 조사와 설문 조사를 통한 전투용 장갑의 착용 실태 조사, 실험을 통한 전투용 장갑의 적정 맞음새 분석 및 손실계수비 도출, 최적화를 통한 전투용 장갑의 최적 사이즈 시스템 개발, 현행 사이즈 시스템과의 커버율 비교를 통한 검증을 수행하였다.

본 연구에서는 전투용 장갑의 착용 실태 조사 결과를 기반으로 선정된 전투 상황에서 요구되는 손 동작(사격 자세, 로프 자세)과 손 기능(기민성, 악력)을 실험 항목으로 구성하여 전투용 장갑의 적정 맞음새를 분석하고 손실계수비를 도출하였다. 적정 맞음새 분석 결과, 정적 자세에 비해 사격 자세의 사이즈 적합 장갑과 최대 허용 장갑이 통계적으로 유의하게 감소하였으며, 이는 장갑 끝 여유분으로 인한 화기의 조정간 조작 및 방아쇠 작동의 어려움과 화기 작동 오류로 인한 안전사고에 대한 불안함 때문인 것으로 파악되었다. 또한 정적 자세에 비해 로프 자세의 사이즈 적합 장갑, 최소 허용 장갑, 최대 허용 장갑이 모두 통계적으로 유의하게 감소하였으며, 이는 부적절한 장갑의 맞음새가 로프를 쥐는 동작을 방해하여 손에 부가적인 힘이 필요하고 체력 소모가 크기 때문인 것으로 파악되었다. 따라서 전투용 장갑은 착용자의 손에 비해 큰 사이즈보다는 오히려 작은 사이즈가 선호됨을 알 수 있었다. 손실계수비는 정적 자세, 사격 자세, 로프 자세, 기민성, 악력 조건을 모두 만족하도록 허용 장갑 구간의 교집합을 통해 도출되었다.

최종 허용 장갑 구간은 사이즈 적합 장갑을 기준으로 7.3 mm 작은 장갑부터 2.0 mm 큰 장갑까지로, 손실계수비는 0.075로 산출되었다.

전투용 장갑의 사이즈 시스템 최적화는 사이즈코리아 8차 인체치수조사사업에서 수집한 성인 남성 1,341명의 손길이, 손너비 계측치와 실험을 통해 산출된 손실계수비를 적용하여 수행하였으며, 사이즈 수가 1 ~ 7개인 경우에 대하여 각각 수행하여 결과를 비교하였다. 그 결과, 4개의 사이즈 수가 채택되었으며, 최적 사이즈 시스템(S-손길이: 168 mm, 손너비: 81 mm, M-손길이: 177 mm, 손너비: 83 mm, L-손길이: 184 mm, 손너비: 86 mm, XL-손길이: 191 mm, 손너비: 89 mm)이 도출되었다.

본 연구에서 제안한 전투용 장갑의 최적 사이즈 시스템은 커버율 측면에서 현행 사이즈 시스템과 비교하여 검증하였다. 그 결과, 현행 사이즈 시스템의 커버율은 65.3%인 것에 반해 본 연구에서 제안한 최적 사이즈 시스템의 커버율은 86.4%로 약 21.1%의 향상을 보였다. 따라서 본 연구에서 제안한 최적 사이즈 시스템은 현행 사이즈 시스템과 동일한 사이즈 수를 유지하여 생산에 추가적인 비용을 발생시키거나 보급의 효율성을 저해하지 않으면서 커버율을 향상시켰으므로 현실적인 개선 방안이 될 수 있을 것이다.

본 연구에서 제안한 전투용 장갑의 최적 사이즈 시스템 개발은 사이즈 시스템 최적화를 통해 불균일한 치수 간격을 설정하여 착용자 맞음새 측면의 손실을 최소화하였다. 또한 손실함수 최적화 과정에 투입되는 손실계수비의 실증 값을 실험을 통해 도출하는 방법을 고안하였다. 본 연구에서 도출한 전투용 장갑의 손실계수비는 1 미만의 상수로, 기존의 통념과 달리 전투용 장갑과 같은 기능성 장갑의 경우 작업 효율과 안전을 고려하여 작은 사이즈가 더 선호될 수 있음을 새롭게 밝혔다는 점에서 의의가 있다.

주요어 : 전투용 장갑, 사이즈 시스템, 장갑 맞음새, 손실함수, 최적화

학　번 : 2020-29237

목 차

제 1 장 서 론 1
제 1 절 연구의 필요성 1
제 2 절 연구의 목적 4

제 2 장 이론적 배경 5
제 1 절 장갑 사이즈 시스템 5
1. 전투용 장갑의 현행 사이즈 시스템 5
2. 장갑 치수 관련 규격 6

제 2 절 장갑 사이즈 시스템의 개발 8

제 3 절 손실함수 도입을 통한 최적 사이즈 시스템 개발 14
1. 사이즈 시스템 최적화에 대한 정량적 접근 14
2. 손실함수의 도입 및 적용 15
3. 손실함수의 최적화 방법 19

제 3 장 연구 방법 21
제 1 절 전투용 장갑의 착용 실태 조사 23
1. 심층 면접 조사 23
2. 설문 조사 23

제 2 절 전투용 장갑의 적정 맞음새와 손실계수비 도출 25
1. 실험용 장갑의 제작 25
2. 실험 참여자 27
3. 사이즈 적합 장갑과 주관적 허용 장갑 구간 도출 27
4. 객관적 허용 장갑 구간 도출 29
5. 분석 방법 31

제 3 절 전투용 장갑의 사이즈 시스템 최적화.....34

제 4 절 전투용 장갑의 최적 사이즈 시스템 검증.....35

제 4 장 결 과.....36

제 1 절 전투용 장갑의 착용 실태 조사.....36

1. 조사 참여자 특성.....36

2. 착용 실태.....37

제 2 절 전투용 장갑의 적정 맞음새와 손실계수비 도출.....40

1. 실험 참여자 특성.....40

2. 손 크기 요인에 따른 실험 결과 차이.....40

3. 사이즈 적합 장갑과 주관적 허용 장갑 구간.....42

4. 객관적 허용 장갑 구간.....49

5. 적정 맞음새 분석.....52

6. 손실계수비 도출.....57

7. 치수 항목 선정 및 우선순위 설정.....60

제 3 절 전투용 장갑의 사이즈 시스템 최적화.....63

1. 최적 치수 도출.....63

2. 경계 구간 설정.....70

3. 중첩 구간의 사이즈 정의.....72

4. 전투용 장갑의 최적 사이즈 시스템.....74

제 4 절 전투용 장갑의 최적 사이즈 시스템 검증.....76

1. 전투용 장갑의 현행 사이즈 시스템.....76

2. 현행 사이즈 시스템과 최적 사이즈 시스템의 커버율 비교.....78

제 5 장 결 론.....82

참고문헌 86

Abstract 90

표 목차

[표 1] 장갑 치수 관련 규격 7
[표 2] 장갑의 사이즈 시스템을 개발한 선행연구 8
[표 3] 손실함수를 적용하여 의류 사이즈 시스템을 제안한 선행연구 17
[표 4] 용어 정의 22
[표 5] 심층 면접 참여자 23
[표 6] 전투용 장갑의 착용 실태 조사를 위한 설문 내용 24
[표 7] 실험용 장갑의 사이즈 전개 25
[표 8] 실험용 장갑 소재의 물성 26
[표 9] 사이즈코리아 8차 인체치수조사사업의 손길이와 손너비 측정법 31
[표 10] 현행 사이즈 시스템의 제품 치수와 인체 치수 34
[표 11] 조사 참여자의 연령 분포 35
[표 12] 군 복무 시 착용한 전투용 장갑의 종류 36
[표 13] 전투용 장갑 착용 권장 비율과 실제로 착용된 비율 37
[표 14] 실험 참여자 특성 39
[표 15] 실험 참여자의 손 크기 그룹별 특성 40
[표 16] 실험 참여자의 손 크기 그룹별 실험 결과의 차이 40
[표 17] 정적 자세에서의 사이즈 적합 장갑 41
[표 18] 정적 자세에서 사이즈 적합 장갑의 선정 요인 42
[표 19] 정적 자세에서의 허용 장갑 구간 42
[표 20] 정적 자세에서 최소 허용 장갑과 최대 허용 장갑의 선정 요인 43
[표 21] 사격 자세에서의 사이즈 적합 장갑 43
[표 22] 사격 자세에서 사이즈 적합 장갑의 선정 요인 44
[표 23] 사격 자세에서의 허용 장갑 구간 44
[표 24] 사격 자세에서 최소 허용 장갑과 최대 허용 장갑의 선정 요인 45
[표 25] 로프 자세에서의 사이즈 적합 장갑 46
[표 26] 로프 자세에서 사이즈 적합 장갑의 선정 요인 46

[표 27] 로프 자세에서의 허용 장갑 구간 47
[표 28] 로프 자세에서 최소 허용 장갑과 최대 허용 장갑의 선정 요인 48
[표 29] 정적 자세와 사격 자세 간 사이즈 적합 장갑과 허용 장갑 구간 변화.....51
[표 30] 정적 자세와 로프 자세 간 사이즈 적합 장갑과 허용 장갑 구간 변화.....54
[표 31] 정적, 사격, 로프 자세에서 선정한 사이즈 적합 장갑과 손부위 계측치 간의 상관관계 59
[표 32] 치수 항목의 우선순위와 기준 치수 설정 61
[표 33] 사이즈 시스템 최적화 조건.....62
[표 34] 사이즈 수에 따른 최적 치수와 총손실.....67
[표 35] 사이즈 수가 4개 일 때 최적 치수.....69
[표 36] 전투용 장갑 사이즈 시스템의 최적 치수와 경계 구간.....70
[표 37] 사이즈 중첩 구간.....71
[표 38] 전투용 장갑의 최적 사이즈 시스템.....74
[표 39] 전투용 장갑 현행 사이즈 시스템의 제품 치수와 인체 치수.....75
[표 40] 전투용 장갑의 현행 사이즈 시스템과 본 연구에서 제안한 최적 사이즈 시스템의 커버율.....77

그림 목차

[그림 1] 전투용 장갑의 현행 사이즈 시스템.....5
[그림 2] Kwon et al. (2005), Kim(2008), Kwon et al. (2009)의 연구에서 개발한 성인 남성용 장갑 사이즈 시스템의 비교.....11
[그림 3] Kwon et al. (2005), Kim(2008), Kwon et al. (2009)의 연구에서 개발한 성인 여성용 장갑 사이즈 시스템의 비교.....11
[그림 4] 20~30대 남성의 손길이(좌), 손둘레(우), 손너비(아래) 분포.....13
[그림 5] 연구 흐름도.....21
[그림 6] 용어 간의 관계.....22
[그림 7] 실험용 장갑의 도식화.....24
[그림 8] 실험용 장갑의 패턴.....25
[그림 9] 실험에 사용된 모형 K2 소총(좌)과 낙하산 로프(우).....28
[그림 10] 사격 자세(좌)와 로프 자세(우)의 예시.....28
[그림 11] Purdue pegboard test.....29
[그림 12] 악력계.....29
[그림 13] 사이즈코리아 8차 인체치수조사사업의 손가락길이 측정법.....32
[그림 14] 장갑 사이즈에 따른 기민성 측정 결과.....49
[그림 15] 장갑 사이즈에 따른 악력 측정 결과.....50
[그림 16] 장갑 착용 상태에서 로프 쥐기 자세(좌)와 악력계 쥐기 자세(우).....51
[그림 17] 큰 사이즈의 전투용 장갑 착용 시 화기 조정간 조작의 어려움 (좌: 적합 장갑 착용, 우: 큰 장갑 착용).....53
[그림 18] 큰 사이즈의 전투용 장갑 착용 시 화기 방아쇠 조작의 어려움 (좌: 적합 장갑 착용, 우: 큰 장갑 착용).....53
[그림 19] 큰 사이즈의 전투용 장갑 착용 시 로프 사용의 어려움 (좌: 적합 장갑 착용, 우: 큰 장갑 착용).....55
[그림 20] 최종 허용 장갑 구간 도출.....57
[그림 21] 사이즈 수가 1개일 때 최적화 결과.....63

[그림 22] 사이즈 수가 2개일 때 최적화 결과.....63
[그림 23] 사이즈 수가 3개일 때 최적화 결과.....64
[그림 24] 사이즈 수가 4개일 때 최적화 결과.....64
[그림 25] 사이즈 수가 5개일 때 최적화 결과.....65
[그림 26] 사이즈 수가 6개일 때 최적화 결과.....65
[그림 27] 사이즈 수가 7개일 때 최적화 결과.....66
[그림 28] 사이즈 수에 따른 총손실의 변화.....68
[그림 29] 착용자의 허용 장갑 구간과 최적 치수 경계 구간의 관계 69
[그림 30] 전투용 장갑의 최적 치수와 경계 구간 71
[그림 31] 중첩 구간의 사이즈 정의.....72
[그림 32] 전투용 장갑의 최적 사이즈 시스템 72
[그림 33] 전투용 장갑의 현행 치수와 경계 구간 76
[그림 34] 전투용 장갑의 현행 사이즈 시스템 76
[그림 35] 현행 사이즈 시스템의 커버율.....78
[그림 36] 최적 사이즈 시스템의 커버율.....78
[그림 37] 현행 사이즈 시스템과 최적 사이즈 시스템의 사이즈별 빈도.....79

제 1 장 서 론

제 1 절 연구의 필요성

인간의 손은 그 자체로도 매우 다양한 정보를 수용하고 복잡한 작업을 수행하지만, 때로는 도구나 의복을 활용함으로써 손의 기능을 확장하기도 한다(Ryu & Suh, 2004). 여러가지 도구와 의복 중에서 치수와 형태가 적합한 장갑은 다양한 기능을 수행하는 손의 안전을 보장하거나 작업 효율성을 증진시키기 위해 착용되며(Kwon et al., 2005), 착용 목적에 따라 여러 종류의 장갑이 있다. 특히 군 전술 훈련과 같이 부러짐, 잘림, 뚫림, 충격 등의 기계적 외상이나 열기, 한기로 인한 열적 위험에 자주 노출되는 환경에서는 전투용 장갑의 착용이 필수적이라고 할 수 있다(Choi & Kim, 2005).

전투용 장갑은 착용자의 손에 적절한 보호를 제공하는 동시에 착용자가 전술 장비를 세밀하고 정확하게 조작할 수 있도록 하여 임무 수행 효율을 높이고 안전 사고의 위험을 줄일 수 있어야 한다. 그러나 현용 전투용 장갑은 보호 성능이 강조되므로 손의 힘과 기민성, 작업 소요시간, 움직임의 범위 등 전반적인 작업 능력에 부정적인 영향을 미친다는 단점이 있다(Muralidhar et al., 1999). Do(2020)의 연구에 따르면 부상이 가장 빈번히 일어나는 전술 훈련은 산악구조(35.29%), 헬기강하(23.53%), 사격전술(11.77%) 순이었으며 이 세 가지 전술 훈련은 모두 로프나 화기 등의 장비를 다루는 높은 난이도의 손 활동을 포함한다. 따라서 전투용 장갑은 착용자 신체의 안전을 지키는 보호 성능뿐 아니라, 원활한 임무 수행을 위한 운동 성능 또한 충족되어야 할 것이다.

장갑의 사이즈 시스템을 제안한 선행연구(Ryu & Suh, 2003; Ryu & Suh, 2004; Kwon et al., 2005; Kim, 2008; Kwon et al.,2009)는 특수한 상황에서 착용하는 전투용 장갑이 아닌 범용 장갑을 대상으로 한

연구이므로 장갑의 맞음새나 생산 및 보급의 효율성 측면에서 전투용 장갑의 착용 특성에 적합하지 않다. 치수 간격을 넓게 설정하여 사이즈 수를 적게 전개한 사이즈 시스템은 생산과 보급의 효율성에 있어 이점이 있으나, 우수한 맞음새를 제공하지 못할 가능성이 높다. 반대로 치수 간격을 좁게 설정하여 많은 사이즈를 전개할 경우 착용자에게 다양한 사이즈를 제공하여 맞음새를 개선할 수 있으나, 과도한 생산 비용을 야기하므로 현실적이지 못한 방법이며(Chun et al., 1996), 본 연구의 연구 대상인 전투용 장갑의 경우 일정 수준 이상의 사이즈 다양성은 오히려 보급 시 혼란을 가중시킬 우려가 있어 적합하지 않다.

이와 같이 사이즈 수가 제한된 상황에서 최선의 맞음새를 구현할 수 있는 사이즈 시스템 개발을 위해 많은 연구자들이 Park & Kim (1992)의 연구에서 제안한 손실함수 개념을 적용하였다. 이에 따라 통신 판매용 의류(Chun et al., 1996), 노년 여성용 브래지어(Lee & Choi, 1996), 비만 여성의 의류(Lee, 1998), 학령 후기 여아의 의류(Jang & Kim, 2006), 비만 남아의 의류(Choi et al., 2009), 여자 청소년의 의류(Kim, 2018) 등의 사이즈 시스템 개발 연구에 손실함수 개념이 적용되었으나, 장갑의 사이즈 시스템 개발에는 적용된 사례가 없다. 또한 선행연구에서 손실함수에 투입한 손실계수비는 각 아이템의 특성을 기반으로 연구자의 직관 또는 근사값에 의존하여 설정한 것이므로 장갑용 손실계수비 도출을 위한 객관적인 연구 방법이 필요할 것으로 본다.

이에 따라 본 연구에서는 특수한 상황에서 착용하는 전투용 장갑의 사이즈 시스템을 개발하기 위해 전투용 장갑 착용 시의 전술 동작을 고려하여 적정 맞음새를 도출하고 이를 손실함수의 개념에 적용하여 장갑의 맞음새와 생산 및 보급 양측을 모두 고려한 새로운 사이즈 시스템을 제안하였다. 생산 및 보급의 효율성을 위해 기존 사이즈 수는 유지하되, 장병들의 장갑 치수 적합성과 커버율을 높이기 위해 기존의 균일한 치수 간격이 아닌 커버율을 높일 수 있는 불균일한 최적 치수

간격을 제시하였다. 특히 치수 적합성을 높이기 위한 적정 맞음새 구간 도출 실험이라는 새로운 접근 방법을 제안하였으며, 그 결과를 사이즈 시스템 최적화 과정의 손실계수비로서 투입하고, 장갑 사이즈의 경계 구간으로서 적용하였다. 이런 일련의 과정들을 통해 전술 활동에 적합한 전투용 장갑의 사이즈 시스템을 실증적인 접근 방법으로 개발하고 제안함으로써 전투용 장갑의 맞음새를 향상시켜 장병들의 임무 수행 능력 증진과 신체 보호를 모두 충족하는데 기여하고자 한다.

제 2 절 연구의 목적

본 연구의 목적은 전투용 장갑의 맞음새와 생산 및 보급 효율성을 모두 고려한 최적 사이즈 시스템을 구축함으로써 장병들의 임무 수행 능력을 증진시키고 안전사고로부터 보호하는 것이다. 본 연구에서는 최적 사이즈 시스템을 개발하기 위해 손실함수의 최적화 기법을 적용하였으며, 그 과정에 전술 동작 시의 장갑 맞음새를 반영하고자 실험을 통해 적정 맞음새를 도출하여 그 결과를 사이즈 시스템 최적화 과정의 손실계수비로서 투입하고, 장갑 사이즈의 경계 구간으로서 적용하였다. 이에 따른 본 연구의 구체적인 연구 내용은 다음과 같다.

연구내용 1. 전투용 장갑 착용 경험자를 대상으로 설문조사를 수행하여 전투용 장갑의 착용 실태를 파악하고, 이를 기반으로 실험을 설계한다.

연구내용 2. 실험을 통해 전투용 장갑의 적정 맞음새와 손실계수비를 도출한다.

연구내용 3. 손실계수비와 사이즈코리아 8차 인체치수조사사업 데이터를 투입하여 손실함수를 통한 사이즈 시스템 최적화를 진행한다.

연구내용 4. 최적화를 통해 도출된 최적 치수에 적정 맞음새에 따른 경계 구간을 적용하여 전투용 장갑의 최종 사이즈 시스템을 제안한다.

연구내용 5. 본 연구에서 제안한 전투용 장갑의 최적 사이즈 시스템과 현행 사이즈 시스템의 커버율을 비교하여 최적 사이즈 시스템의 효과를 검증한다.

제 2 장 이론적 배경

제 1 절 장갑 사이즈 시스템

1. 전투용 장갑의 현행 사이즈 시스템

대한민국 군에서 현재 보급되는 전투용 장갑의 사이즈 시스템은 그림 1과 같이 S, M, L, XL 네 종류의 사이즈로 구성되어 있으며, 각 사이즈의 장갑 길이와 장갑 너비를 제시하고 있다. 또한 치수 간격은 장갑 길이와 너비 모두 5 mm로 균일하게 지정하고 있으며, 장갑 길이는 ±3 mm, 장갑 너비는 4 mm의 제품 치수 허용 오차를 규정하고 있다. 그러나 현행 사이즈 시스템에서는 제품의 치수와 허용 오차만 명시할 뿐, 각 사이즈에 적합한 손 치수를 제시하지 않아 착용자 입장에서 장갑 사이즈를 선택할 때 효과적인 참고 자료가 되지 못하고 있다.

구분	남군용 (단위: mm)			
	S	M	L	XL
A	235 ± 3	240 ± 3	245 ± 3	250 ± 3
B	100~104	105~109	110~114	115~119

[그림 1] 전투용 장갑의 현행 사이즈 시스템
(출처: PRD 8440)

2. 장갑 치수 관련 규격

장갑의 기존 사이즈 시스템을 조사하여 전투용 장갑의 사이즈 시스템 개발 시 참고하고자 ISO규격과 KS규격의 치수 항목, 치수 간격, 사이즈 수를 검토하였다(표 1). 장갑의 치수와 관련된 ISO 규격은 4건, KS 규격은 8건으로 총 12건이 있으며, 규격이 제시된 장갑의 종류로는 보호 및 방호용 장갑(범용 장갑, X선 방호용 장갑, 방사성 오염 방호용 장갑), 의료 및 수술용 장갑, 가정용(폴리염화비닐 장갑, 고무 장갑)이 있었다.

보호용 장갑의 규격인 ISO 21420:2020만 인체 계측 치수를 치수 항목으로 제시하고 있었으며, 그 외 11가지의 규격은 2~3가지의 제품 치수 항목을 제시하고 있었다. 그 항목으로는 장갑 길이(11건), 장갑 너비(7건), 장갑 중지손가락 길이(7건) 등이 있었다.

본 연구에서 사이즈 시스템을 제안하고자 하는 전투용 장갑과 착용 환경 및 착용 목적이 유사한 보호용 장갑(ISO 21420:2020), 보호용 장갑 및 팔 보호대(ISO 13999-1:1999, KS K ISO 13999-1:1999), 공업용 보호 장갑(KS M 6643: 2017)의 치수 간격과 사이즈 수를 살펴본 결과, 네 규격 모두 일정한 치수 간격으로 사이즈를 설정한 것으로 나타났다. 보호용 장갑(ISO 21420:2020)의 경우 손 둘레 항목을 25.5 mm 간격으로, 손 길이 항목을 11 mm 간격으로 하여 총 6개의 사이즈를 전개했고, 보호용 장갑 및 팔 보호대(ISO 13999-1:1999, KS K ISO 13999-1:1999)는 장갑 길이 항목을 12 mm 간격으로, 장갑 중지손가락과 검지손가락 길이를 3 mm 간격으로 하여 총 6개의 사이즈를 전개하였으며, 공업용 보호 장갑(KS M 6643: 2017)은 장갑 중지손가락 길이와 장갑 너비를 10 mm 간격으로 하여 3개의 사이즈를 전개하였다.

[표 1] 장갑 치수 관련 규격

번호	규격명	종류	치수 항목	치수 간격(mm)	사이즈 수(개)
1	ISO 21420:2020	보호용 장갑	손 둘레	25.5	6
			손 길이	11	
2	ISO 11193-1:2020 (KS M ISO 11193-1:2008)	일회용 의료 고무 장갑	장갑 너비	6, 7	7
			장갑 길이	0, 10	
3	ISO 13999-1:1999 (KS K ISO 13999-1:1999)	보호용 장갑 및 팔 보호대	장갑 길이	12	6
			장갑 중지손가락 길이	3	
			장갑 검지손가락 길이	3	
4	KS A 4036: 1997	X 선 방호 장갑	장갑 길이	0	2
			장갑 중지손가락 길이	10	
			장갑 너비	10	
5	KS G 3110: 2012	가정용 폴리염화비닐 장갑	장갑 중지손가락 길이	6	3
			장갑 길이	0	
6	ISO 10282:2014 (KS M ISO 10282: 2014)	일회용 멸균 수술용 고무장갑	장갑 너비	5, 6, 7	10
			장갑 길이	0, 10	
7	KS M 6633: 2014	가정용 고무 장갑	장갑 중지손가락 길이	4	4
			장갑 길이	0	
			장갑 너비	0, 50	
8	KS M 6643: 2017	공업용 보호 장갑	장갑 중지손가락 길이	10	3
			장갑 길이	0	
			장갑 너비	10	
9	KS A 4052: 2006	방사성 오염 방호용 고무 장갑	장갑 중지손가락 길이	2, 3, 4, 5	5
			장갑 둘레	10, 15	
			장갑 길이	0, 10	

제 2 절 장갑 사이즈 시스템의 개발

장갑의 사이즈 시스템 개발에 대한 선행연구는 대체로 손 사이즈에 대표성을 갖는 두 가지의 기준 치수 항목을 선별한 뒤, 두 기준 치수 각각을 적절한 구간으로 나누어 일정값 이상의 출현율을 가지는 구간을 사이즈 시스템에 포함시키는 방법으로 수행되었다(표 2).

[표 2] 장갑의 사이즈 시스템을 개발한 선행연구

번호	선행연구	대상	기준 치수 항목	치수 간격 (mm)	사이즈 수 (개)	커버율
1	Kwon et al. (2005)	성인 남성	손길이	10	7	73.0%
			손둘레	10		
		성인 여성	손길이	10	6	72.5%
			손둘레	10		
2	Kim (2008)	성인 남성	손길이	16, 24	3	81.3%
			손둘레	13		
		성인 여성	손길이	16, 24	3	82.3%
			손둘레	13		
3	Kwon et al. (2009)	성인 남성	손길이	13	8	90.2%
			손둘레	13		
		성인 여성	손길이	13	6	97.6%
			손둘레	13		
4	Ryu & Suh. (2003)	성인 남성	검지손가락 첫마디둘레	5, 10	9	–
			중지손가락 길이	4, 16		
5	Ryu & Suh. (2004)	성인 여성	검지손가락 첫마디둘레	4, 9	9	–
			중지손가락 길이	4, 12		
6	Kwon et al. (2019)	소방공무원	손길이	10	6	86.0%
			손둘레	20		
7	Jeon (2021)	아동	손길이	20, 30	3	93.7%
			손둘레	20, 30		

Kwon et al. (2005)의 연구에서는 상관관계분석을 통해 손길이와 손둘레를 대표 항목으로 선정한 뒤, 각 항목의 평균 및 표준편차, 장갑 생산업체들의 생산 방식을 고려하여 치수 간격을 10 mm로 등분하였다. 그 결과, 각 치수 구간 중 5% 이상의 출현율을 보이는 구간은 남자 7개, 여자 6개인 것으로 나타났으며, 이를 사이즈 시스템에 적용할 것을 제안하였다.

Kim (2008)의 연구에서도 마찬가지로 상관관계분석을 통해 손길이와 손둘레를 기본 치수로 선정한 뒤, 한국산업규격과 ISO 규격에 준하여 손길이와 손둘레의 치수 간격을 각각 8 mm와 13 mm로 등분하였다. 그 결과, 각 치수 구간 중 3% 이상의 출현율을 보이는 구간은 남자 10개, 여자 8개인 것으로 나타났으며, 이들 중 근접한 두세 구간을 병합하여 S, M, L 세가지 사이즈로 규정하였다. S, M, L 간의 최종적인 치수 간격은 손길이 16 mm, 24 mm, 손둘레 16 mm로 나타났다.

Kwon et al. (2009)의 연구에서는 상관관계분석 및 회귀분석을 통해 손길이와 손둘레를 중요 변수로 결정한 뒤, 두 변수의 산포측도 특성과 기존 장갑업체들의 생산 방식을 바탕으로 치수 간격을 13 mm로 등분하였다. 그 결과, 각 치수 구간 중 2 % 이상의 출현율을 보이는 구간은 남자 8개, 여자 6개인 것으로 나타났으며, 이를 사이즈 시스템에 적용할 것을 제안하였다.

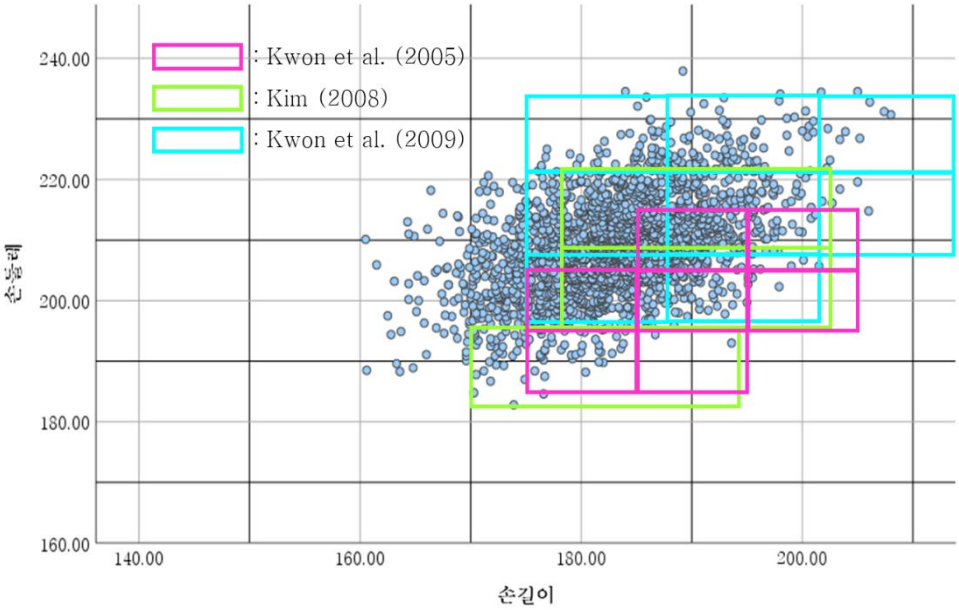
Ryu & Suh (2003)의 연구와 Ryu & Suh (2004)의 연구에서는 각각 한국 성인 남성과 여성의 손 계측치에 대한 요인분석을 실시하여 제1요인에서 설명 변수가 가장 크게 나타난 검지손가락의 첫마디둘레와 제2요인에서 설명 변수가 가장 크게 나타난 중지손가락의 길이를 중요 치수 항목으로 선정하였다. Ryu & Suh (2003)의 연구에서는 데이터 경향성에 대한 연구자의 직관에 따라 남성의 검지손가락의 첫마디둘레에 대한 기준 치수를 60 mm, 65 mm, 75 mm, 중지손가락의 길이에 대한 기준 치수를 74 mm, 78 mm, 94 mm로 불균등하게 구획하여

검지손가락의 첫마디둘레와 중지손가락의 길이의 조합에 따라 총 9개의 사이즈를 설정하였다. 이와 동일하게 Ryu & Suh (2004)의 연구에서도 여성의 검지손가락의 첫마디둘레에 대한 기준 치수를 56 mm, 60 mm, 69 mm, 중지손가락의 길이에 대한 기준 치수를 69 mm, 73 mm, 85 mm로 불균등하게 구획하여 검지손가락의 첫마디둘레와 중지손가락의 길이의 조합에 따라 총 9개의 사이즈를 설정하였다.

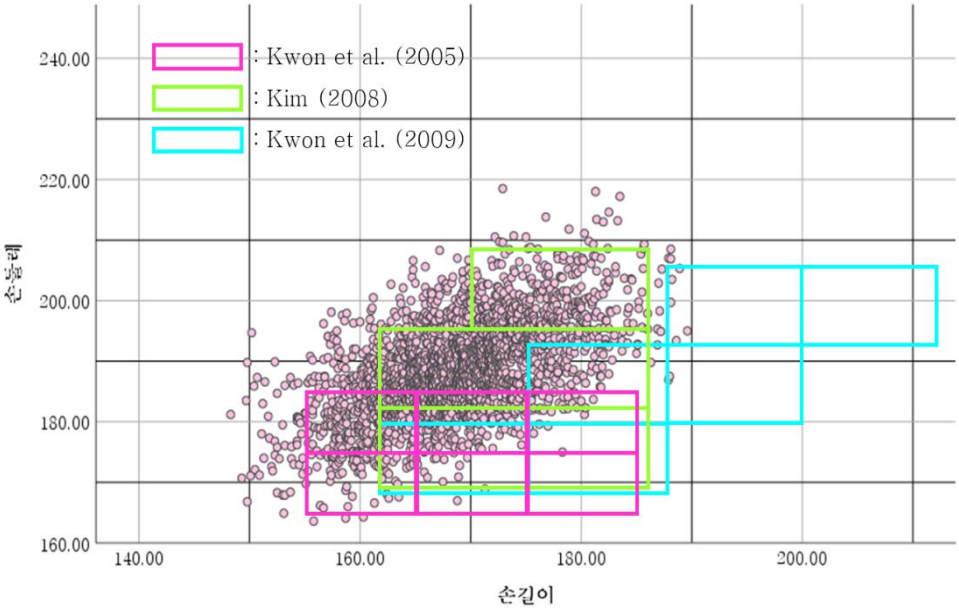
성인 남성과 성인 여성의 일반적인 장갑뿐만 아니라 소방공무원이나 아동 등 특정한 사용자군을 위한 장갑 사이즈 시스템도 유사한 방식으로 개발되었다. Kwon et al. (2019)의 연구에서는 소방공무원의 장갑 사이즈 시스템 개발을 위해 소방공무원 100명의 손을 측정하고 이를 상관관계분석하여 손길이와 손둘레를 대표 부위로 선정한 뒤, 치수 간격을 각각 1 cm와 2 cm로 등분하였다. 그 결과, 각 치수 구간 중 5% 이상의 출현율을 보이는 구간은 6개인 것으로 나타났으며, 이를 소방공무원용 장갑 사이즈 시스템에 적용할 것을 제안하였다.

Jeon (2021)의 연구에서는 아동용 장갑의 사이즈 시스템을 설계하기 위해 손길이와 손둘레를 대표 부위로 선정한 뒤, 치수 간격을 10 mm로 등분하였다. 해당 연구에서는 이를 통해 아동용 장갑의 사이즈 체계를 S: 손길이 130~150 mm / 손둘레 140~160 mm, M: 손길이 140~170 mm / 손둘레 150~180 mm, L: 손길이 160~190 mm / 손둘레 170~200 mm로 제안하였다.

앞서 언급한 장갑 치수 관련 선행연구 중 Kwon et al. (2005), Kim (2008), Kwon et al. (2009)의 연구는 성인 남성과 성인 여성을 대상으로 연구하였으며, 현행 전투용 장갑의 기준 치수 항목과 유사한 항목을 사용하였다는 점에서 전투용 장갑의 사이즈 시스템에 적용될 가능성이 있다. 따라서 본 연구에서는 세 가지의 선행연구에서 제안한 장갑 사이즈 시스템을 그림 2 (남성용), 그림 3 (여성용)과 같이 표현하여 전투용 장갑에의 활용 가능성 여부를 검토하였다.



[그림 2] Kwon et al. (2005), Kim(2008), Kwon et al. (2009)의 연구에서 개발한 성인 남성용 장갑 사이즈 시스템의 비교 (손길이, 손둘레 측정치: 사이즈코리아 8 차 인체치수조사사업)



[그림 3] Kwon et al. (2005), Kim(2008), Kwon et al. (2009)의 연구에서 개발한 성인 여성용 장갑 사이즈 시스템의 비교 (손길이, 손둘레 측정치: 사이즈코리아 8 차 인체치수조사사업)

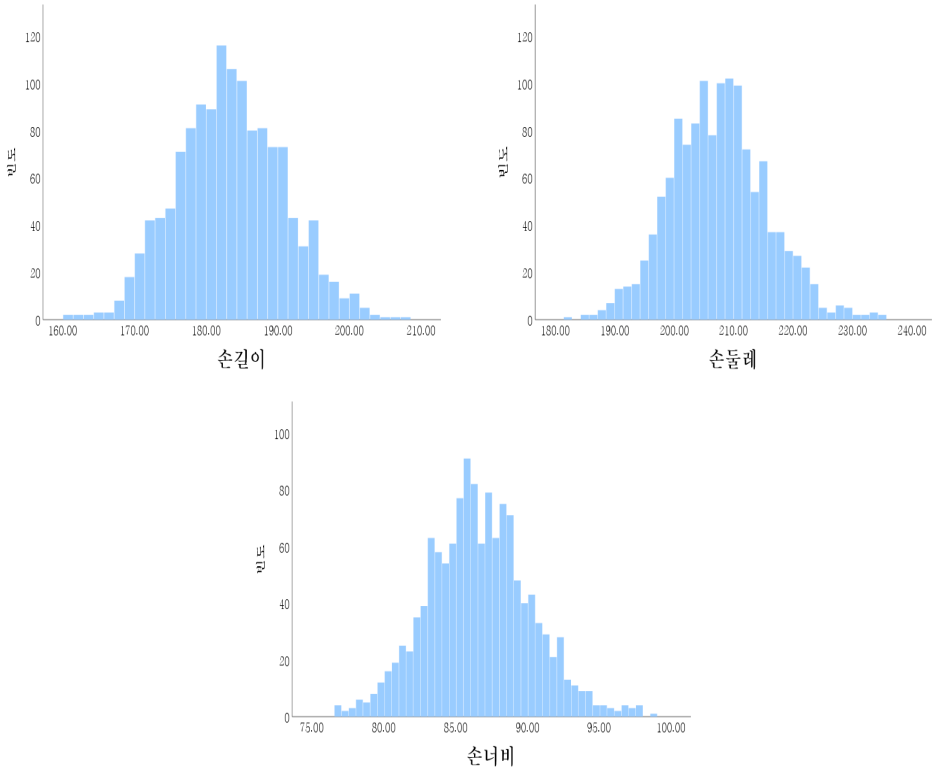
전투용 장갑은 착용 상태에서 화기나 로프 등의 장비들을 세밀하고 정확하게 다룰 수 있어야 하므로 정교한 맞음새를 요한다. 그러나 장갑 사이즈 간의 치수 간격이 넓게 설정될 경우 다양한 손 크기의 병사들에게 우수한 맞음새의 장갑을 제공할 수 없어 안전사고의 위험이 높다. 이러한 점에서 Kim (2008)의 연구에서 제안한 장갑의 사이즈 시스템은 손길이 항목의 치수 간격이 넓게 설정되어 장비 조작을 위한 세밀한 맞음새 조건을 만족하기 어려울 것으로 판단되며, 극단적인 경우 손길이가 24 mm 차이 나는 병사들이 동일한 사이즈의 장갑을 착용해야 하는 상황이 발생될 우려가 있다.

전투용 장갑의 맞음새 조건을 만족하고자 치수 간격을 좁게 설정하여 사이즈 수를 다양하게 전개할 경우 과도한 생산 비용을 야기하여 현실적이지 못하고, 오히려 보급 시 혼란을 가중시킬 수 있다. 따라서 전투용 장갑은 효율적인 생산과 신속한 보급을 고려하여 생산 사이즈 수를 제한할 필요가 있다. 이러한 점에서 Kwon et al. (2005)의 연구와 Kwon et al. (2009)의 연구에서 제안한 장갑의 사이즈 시스템은 6~8개의 사이즈를 제시하였으므로, 현행 사이즈 시스템에서 제시한 사이즈 수보다 많아 추가적인 생산 비용이 발생하고, 신속한 보급을 방해할 우려가 있다.

치수 간격을 좁게 설정하는 동시에 사이즈 수를 적게 제한하면 필연적으로 커버율이 낮아지는 문제가 발생한다. 그러나 전투용 장갑은 군 보급품으로서 다수의 장병에게 적절한 사이즈를 제공할 수 있어야 하므로 높은 커버율을 보장해야 한다. 따라서 전투용 장갑의 사이즈 시스템은 착용 환경과 착용 목적의 특성 상 세밀한 치수 간격, 제한적인 사이즈 수, 높은 커버율, 세 가지의 상충되는 조건을 모두 만족하는 최적 사이즈 시스템 개발에 대한 전략이 필요하다고 할 수 있다.

선행연구에서 가장 높은 빈도로 사용된 기준 치수 항목인 손길이, 손둘레 항목과 전투용 장갑의 현행 사이즈 시스템에서 사용한 손너비

항목의 분포 경향을 살펴보면, 그림 4에서와 같이 모든 구간에서 빈도가 균등하게 나타나기보다는 빈도가 높은 구간과 빈도가 낮은 구간이 구분되는 양상을 볼 수 있다. 따라서 대부분의 선행연구에서와 같이 치수 간격을 균등하게 분할하는 것보다는 분포가 높은 치수 구간에서는 보다 세밀한 분할을 하고 분포도가 비교적 낮은 구간에서는 소략한 분할을 하는 방식이 생산 사이즈 수를 제한한 조건에서 보다 많은 착용자에게 우수한 맞음새를 제공할 수 있는 전략이라고 할 수 있다. 이러한 전략은 비단 연구자의 직관뿐만아니라 손실함수를 통한 정량적 접근을 통해 입증될 수 있다. 이에 따라 본 연구에서는 전투용 장갑의 사이즈 시스템에 손실함수를 통한 최적화 방식을 적용하여 적은 수의 생산 사이즈로 최선의 맞음새와 높은 커버율을 구현하고자 한다.



[그림 4] 20~30대 남성의 손길이(좌), 손둘레(우), 손너비(아래) 분포

제 3 절 손실함수 도입을 통한 최적 사이즈 시스템 개발

1. 사이즈 시스템 최적화에 대한 정량적 접근

의류 제품과 같이 제품이 치수별로 생산되는 산업제품은 소비자가 원하는 치수와 구비된 치수가 동일하면 소비자는 제품을 구매하지만 원하는 치수와 구입 가능한 치수 사이에 차이가 존재하면 소비자가 제품을 구매할 확률이 줄어든다는 특징을 가지고 있다 (Tryfos, 1985). 따라서 생산 관리 측면에서 구비 사이즈의 다양성 부족으로 인한 매출의 손실을 줄이기 위해서는 다양한 사이즈를 구비하여 고객의 구매 확률을 높이는 것이 바람직하겠으나, 생산자의 입장에서 사이즈의 다양화는 부가적 생산 비용 증가의 문제점을 초래하게 된다(Chun et al., 1996). 이러한 문제의 해결을 위해 Baumol & Ide (1956)의 연구에서 정량적인 접근을 시도하였고, 이후 여러 연구를 통해 소비자가 요구하는 제품 특성치가 구비되어 있지 않을 때 요구치보다 큰 치수의 제품을 공급해주는 경우에서 발생하는 부가적인 비용을 고려하는 Trim 이나 Assortment 등의 개념으로 발전되어왔다(Park & Kim, 1992).

2. 손실함수의 도입 및 적용

Kang (1989)의 연구에서는 의류 제품에서와 같이 제공된 생산 치수가 소비자의 요구 치수에 적합한 품목은 구매확률이 높아지지만, 생산 치수가 요구 치수에서 멀어질수록 구매확률이 떨어지는 경우에 대한 표준 치수를 결정하기 위해 손실함수의 개념을 도입하였다. 손실함수 $L(x)$ 는 Taguchi (1986)의 연구에서 제안된 생산 치수 최적화에 대한 모델로, 생산 치수의 가지수가 제한되어 있을 때의 손실을 ①과 같이 소비자의 요구 치수(x)와 제공되는 생산 치수(u)의 차이로 표현한다. 이를 ②와 같이 Taylor 전개한 후 2차항까지만 고려하면 손실함수 $L(x)$를 ③과 같이 근사할 수 있다.

$$L(x) = f(x-u) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{①}$$

$$L(x) = L(u) + \frac{L'(x)}{1!}(x-u) + \frac{L''(x)}{2!}(x-u)^2 + \frac{L'''(x)}{3!}(x-u)^3 + \cdots \quad \cdots\cdots \text{②}$$

$$L(x) \approx C(x-u)^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{③}$$

Taguchi (1986)의 연구에서 제안한 손실함수 값은 요구 치수와 제공되는 생산 치수의 차이의 절대치에 따라 결정된다. 그러나 Park & Kim (1992)의 연구에서는 소비자의 요구 치수와 동일한 생산 치수가 없을 경우 소비자가 요구 치수보다 작은 치수를 선택할 확률과 큰 치수를 선택할 확률은 소비자의 기호나 개성에 따라 상이할 것이라고 주장하였고, 이에 따라 ③을 근거로 손실함수를 ④와 같이 일반화하였다. 아래의 C_1과 C_2는 각각 소비자가 자신의 요구 치수보다 큰 것을 선택할 경우의 손실계수와 작은 것을 선택할 경우의 손실계수를 의미한다. 따라서 $C_1 = C_2$ 로 설정하면 Taguchi (1986)의 연구에서와 같이

손실함수 값은 요구 치수와 제공되는 생산 치수의 차이의 절대치에 따라 결정되고, $C_1 = \infty$ 로 설정하면 소비자의 요구 치수에 적합한 생산 치수가 없을 때 언제나 작은 치수를 선택하는 경우가 되며, 반대로 $C_2 = \infty$로 설정하면 언제나 큰 치수를 선택하는 경우가 된다.

$$L(x) = \begin{cases} C_1(u-x)^2, \ if \ x \le u \\ C_2(x-u)^2, \ if \ x > u \end{cases} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{④}$$

이를 기반으로 Park & Kim(1992)의 연구에서는 소비자가 생산 치수 u_i를 선택할지 u_{i+1}을 선택할지를 결정짓는 기준값 x_i가 존재한다고 가정하여 기대 총손실 $E(L)$을 ⑤와 같이 나타냈다. 이때, 기대 총손실 값을 최소화하여 생산 치수를 최적화하는 것이 본 연구의 목적이므로, 기준값 x_i와 규격 치수 u_i는 ⑤를 x_i와 u_i 각각에 대하여 편미분하여 정리한 ⑥과 ⑦을 만족해야 한다.

$$E(L) = \sum_{i=1}^{n} \int_{x_{i-1}}^{u_i} C_1 (u_i - x)^2 f(x)dx + \sum_{i=1}^{n} \int_{u_i}^{x_i} C_2 (x - u_i)^2 f(x)dx \cdots \text{⑤}$$

$$C_1(u_{i+1} - x_i)^2 = C_2(x_i - u_i)^2 \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{⑥}$$

$$C_1 \int_{x_{i-1}}^{u_i} (u_i - x)f(x)dx = C_2 \int_{u_i}^{x_i} (x - u_i)f(x)dx \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{⑦}$$

이러한 손실함수의 최적화 원리를 바탕으로 여러 선행연구에서 의류 생산 치수를 제안하였다(표 3). 그러나 각 선행연구에서 도입한 손실계수 C_1과 C_2는 연구자의 직관으로 설정되는 경우가 일반적이었다.

[표 3] 손실함수를 적용하여 의류 사이즈 시스템을 제안한 선행연구

번호	선행연구	대상 복종	손실계수비 C_2/C_1	설정 방법
1	Lee & Choi (1996)	노년 여성용 브래지어	1	연구자의 직관
2	Lee (1998)	비만 여성의 의류	1, 2, 3	연구자의 직관
3	Jang & Kim (2006)	학령 후기 여아의 의류	1, 1.5, 2	연구자의 직관
4	Choi et al. (2009)	비만 남아의 의류	3	연구자의 직관
5	Kim (2018)	여자 청소년의 의류	2, 3	연구자의 직관
6	Chun et al. (1996)	통신판매용 의류	181/35	사이즈 선호도조사

Lee & Choi (1996)의 연구에서는 손실함수를 이용하여 노년 여성용 브래지어 사이즈 시스템을 설정하였는데, 이때 도입된 손실계수는 소비자의 요구 치수보다 큰 치수를 선택할 때와 작은 치수를 선택할 경우의 손실이 같다고 가정하여 손실계수비를 $C_2/C_1 = 1$로 설정하였다.

Lee (1998)의 연구에서는 손실함수를 도입하여 비만 여성의 의류 사이즈 시스템 및 커버율에 대해 고찰하였는데, 이때 도입된 손실계수는 소비자의 요구 치수보다 큰 치수를 선택할 때보다 작은 치수를 선택할 때의 손실이 더 크다고 가정하여 손실계수비를 $C_2/C_1 = 1, 2, 3$으로 나누어 설정한 뒤, 각 경우의 최적 치수에 대해 분석하였다.

Jang & Kim (2006)의 연구에서도 마찬가지로 손실계수비를 연구자의 직관에 따라 $C_2/C_1 = 1.0, 1.5, 2.0$ 로 설정하여 학령 후기 여아의 의류 치수를 설정하였으나, 손실계수 C_1과 C_2의 결정은 구매 형태에 따른 조사 결과에 의해 결정되는 것이 이상적임을 밝혔다.

Choi et al. (2009)의 연구에서도 비만 아동의 경우 자신의 사이즈보다 작은 사이즈를 선택하는 것이 큰 사이즈를 선택하는 것보다 손실이 크다고 가정하여 손실계수비를 $C_2/C_1 = 3$으로 설정하여 비만 남아를 위

한 최적 치수를 설정하였으며, Kim(2018)의 연구에서도 여자 청소년은 의복 구매 후 지속적인 성장과 체형의 변화로 작은 사이즈를 선택할 경우 큰 사이즈를 선택할 경우보다 손실이 크다고 가정하여, 성장 폭이 큰 청소년 전기의 경우 손실계수비를 $C_2/C_1 = 3$으로, 비교적 성장 폭이 작은 청소년 후기는 손실계수비를 $C_2/C_1 = 2$로 설정하여 여자 청소년의 사이즈 스펙을 최적화하였다.

한편 Chun et al.(1996)의 연구에서는 손실계수비를 C_2/C_1를 연구자의 직관이 아닌 설문조사를 통해 도출한 값을 적용하여 통신판매용 의류의 최적 사이즈 시스템을 제안하였다. 해당 선행연구에서는 소비자가 자신에게 맞는 치수가 판매되지 않을 경우에 큰 것을 선호하는지, 혹은 작은 것을 선호하는지를 조사하여 손실계수로 도입하였다. 설문 조사 결과, 소비자가 큰 것을 선호하는 빈도와 작은 것을 선호하는 빈도가 각각 181과 35로 도출되어 손실계수를 $C_1 = 35$, $C_2 = 181$로 설정하였고, 이에 따라 손실계수비를 $C_2/C_1 = 181/35$로 산출하였다. 그러나 이러한 방식은 정확한 손실계수비를 도출하는 것이 아닌, 소비자의 선호를 기반으로 손실계수비에 가까운 값을 유추했다고 보는 것이 타당하다.

본 연구는 선행연구들이 연구자의 직관에 따라 손실계수비를 설정하거나, 소비자 대상의 설문조사로 손실계수비의 근사값을 유추한 것에서 더 나아가 실험을 통해 실증적인 손실계수비를 도출하여 손실함수에 적용하고자 한다. 실제 손실계수비는 Park & Kim(1992)의 연구에 따라 요구 치수가 x인 소비자가 자신의 치수를 기준으로 α만큼 작은 것 혹은 β만큼 큰 것까지 착용할 의향이 있다고 가정하고 $x-\alpha$와 $x-\beta$를 ⑥에 대입하여 정리하면 $C_2/C_1 = (\beta/\alpha)^2$ 인 것을 통해 구할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 실험을 통해 소비자의 착용 허용차 α와 β를 도출하여 실제 손실계수비 C_2/C_1를 최적화 과정에 적용하고자 하였다.

3. 손실함수의 최적화 방법

손실함수의 최적해를 도출하는 방법은 Model-based Method와 Data-driven Method가 있다. 이 두 가지 방법은 주어진 데이터의 양과 경향에 따라 장단점이 뚜렷하게 구분되므로, 데이터의 특성을 파악하여 적절한 방법을 택하는 것이 이상적이다.

Park & Kim (1992)의 사이즈 시스템 최적화는 수치적분을 통해 ⑥과 ⑦을 만족하는 최적 x_i 와 u_i 를 구하는 과정에서 복잡한 반복계산절차로 인해 소요되는 시간을 단축하고자 소비자의 요구 치수의 확률밀도함수가 정규분포를 따른다고 가정하고 Polya의 근사식을 이용하여 명시적 해를 도출하였다. 이와 같이 최적화의 해를 도출할 때, 데이터의 경향과 유사한 수학적 모델을 가정하여 분석하는 방식을 Model-based method 라고 한다(Baraldi et al., 2013). 따라서 Model-based method는 충분한 양의 데이터가 수집이 되지 않았더라도 수학적 모델에 근사하여 데이터를 분석할 수 있으므로 적은 양의 데이터를 분석할 때 유리한 접근이다(Ding, 2008; Isermann, 2005). 그러나 수학적 모델과 실제로 수집한 데이터 분포 간의 괴리로 최적화 과정에 오류가 발생할 수 있다는 단점이 있다(Tidriri et al., 2016).

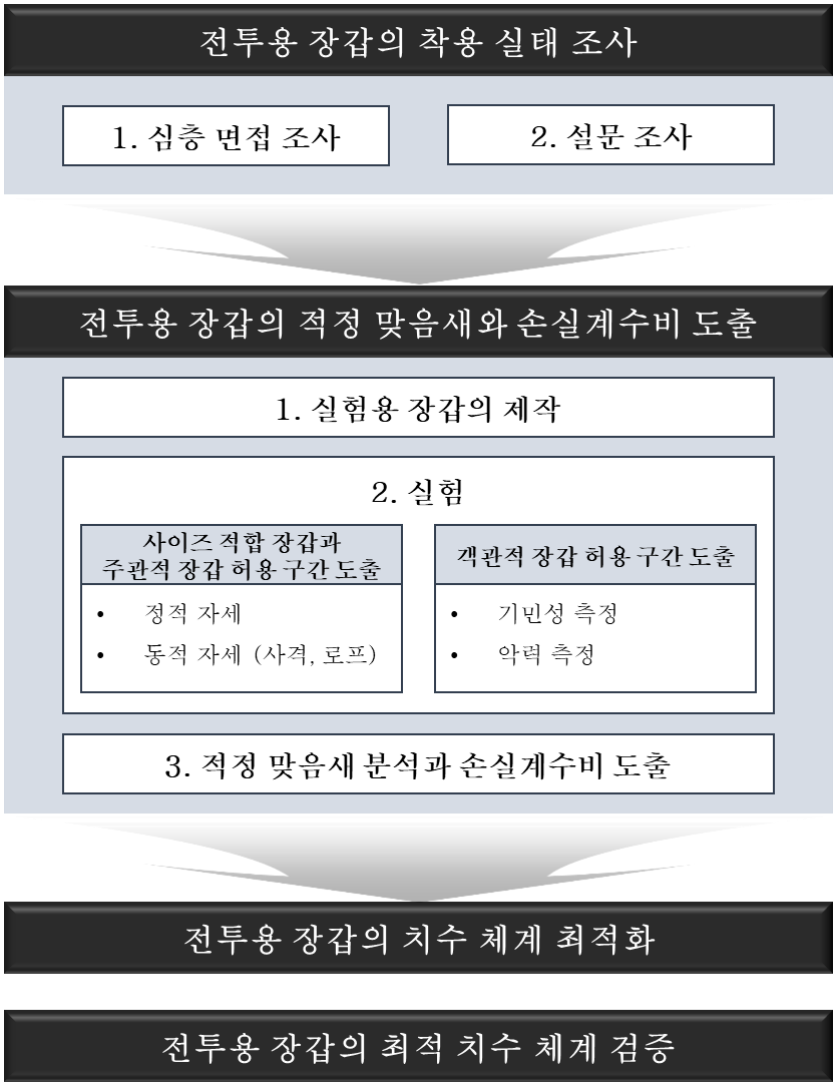
앞서 설명한 사이즈 시스템 최적화는 Model-based method 를 적용하여 소비자의 요구 치수(인체 치수)의 확률밀도함수를 정규분포라는 수학적 모델에 근사하여 분석했다고 말할 수 있다. 따라서, 기존 손실함수의 계산 방식에 따라 사이즈 시스템을 최적화하려면, 계산에 투입되는 인체 치수의 분포가 정규성을 만족해야 한다는 전제조건이 따른다. 그러나 정규성이 검증된 인체 치수 항목만 선별하여 사이즈 시스템에 사용하는 것은 최적의 사이즈 시스템을 설계하는 것에 한계로 작용할 수 있다.

반면 Data-driven method 는 충분한 양의 데이터를 수집하였을 때 데이터 분포에 대한 수학적인 가정없이 최적화 문제를 해결할 수 있는 방식이다(Baraldi et al., 2013). 따라서 인체의 계측치가 정규분포 또는

다른 수학적 모델을 따라야 한다는 제약이 없다. 본 연구에 사용되는 데이터는 사이즈코리아 8 차 인체치수조사사업의 손부위 3 차원 측정 데이터로, 총 1,341 개의 성인 남성 오른손 측정치를 제공하므로, 본 연구에서는 Park & Kim (1992)의 손실함수를 기반으로 Data-driven optimization 방식을 적용하여 다량의 데이터를 확보한 이점을 충분히 살리고, 기존 정규성 검증에 대한 제약은 극복한 최적의 사이즈 시스템을 도출하는 universal framework 를 제안하여 전투용 장갑의 최적 사이즈 시스템을 개발하고자 하였다.

제 3 장 연구 방법

본 연구는 전투용 장갑의 최적 사이즈 시스템을 개발하고자, 20~30대 성인 남성을 대상으로 실태 조사와 실험을 수행하여 전투용 장갑의 적정 맞음새를 분석하고 손실계수비를 도출하였다(그림 5). 본 연구에서 실시한 실태 조사와 실험은 서울대학교 연구윤리위원회의 승인을 받아 진행되었다(IRB No. 2212/002-002, IRB No. E2211/002-006).

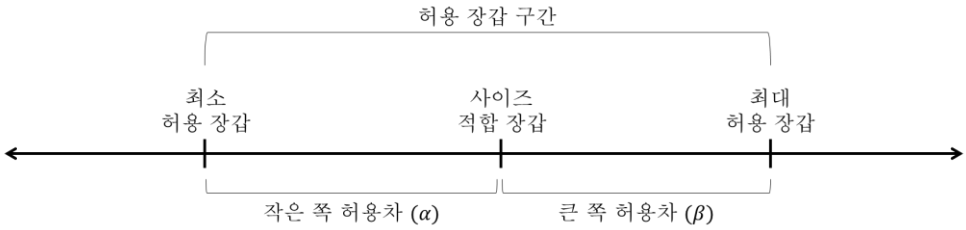


[그림 5] 연구 흐름도

본 연구에서 사용하는 용어의 정의는 표 4와 같으며, 용어 간의 관계는 그림 6과 같다.

[표 4] 용어 정의

용어	정의
사이즈 적합 장갑	실험 참여자 손에 가장 잘 맞는 장갑의 사이즈
최소 허용 장갑	사이즈 적합 장갑에 비해 작지만, 착용 및 작업이 가능한 가장 작은 장갑의 사이즈
최대 허용 장갑	사이즈 적합 장갑에 비해 크지만, 착용 및 작업이 가능한 가장 큰 장갑의 사이즈
허용차	사이즈 적합 장갑과 허용 장갑 간의 차이. ● 작은 쪽 허용차(α) = (사이즈 적합 장갑) – (최소 허용 장갑) ● 큰 쪽 허용차(β) = (최대 허용 장갑) – (사이즈 적합 장갑)
허용 장갑 구간	최소 허용 장갑부터 최대 허용 장갑까지의 구간
손실계수비	손실함수 최적화에 투입되는 계수 C_1, C_2 의 비율. 허용차 α와 β를 통해 산출된다. ● 손실계수비 $C_2/C_1 = (\beta/\alpha)^2$



[그림 6] 용어 간의 관계

제 1 절 전투용 장갑의 착용 실태 조사

1. 심층 면접 조사

군에 보급되고 있는 전투용 장갑의 문제점을 파악하고 설문조사 문항을 설계하기 위해 심층 면접 조사를 실시하였다. 최근 5년 이내에 군 복무를 한 성인 남성 4명을 대상으로 진행하였으며(표 5), 1차 문항 설계 후 동일한 면접 참여자들에게 검토 및 수정 과정을 거쳐 최종 설문 문항이 완성되었다.

[표 5] 심층 면접 참여자 특성

참여자 ID	만 나이	소속	군 복무 기간
P1	25	공군	2019년 06월 ~ 2021년 03월
P2	23	해군	2020년 03월 ~ 2021년 09월
P3	25	육군	2017년 08월 ~ 2019년 05월
P4	23	육군	2020년 10월 ~ 2022년 04월

2. 설문 조사

전투용 장갑의 착용 실태를 파악하기 위해 군 복무 기간동안 전투용 장갑 착용 경험이 있는 20대 또는 30대 성인 남성 104명을 대상으로 설문 조사를 실시하였다.

설문 조사는 인구통계학적 정보를 묻는 2문항, 군 복무에 대한 일반 사항 2문항, 군 복무 시 착용한 전투용 장갑 종류와 전투용 장갑의 착용 실태에 대한 4문항 등 총 8문항으로 구성되었다(표 6). 응답 결과는 SPSS 26.0 프로그램의 기술통계와 빈도분석을 통해 분석되었다.

[표 6] 전투용 장갑의 착용 실태 조사를 위한 설문 내용

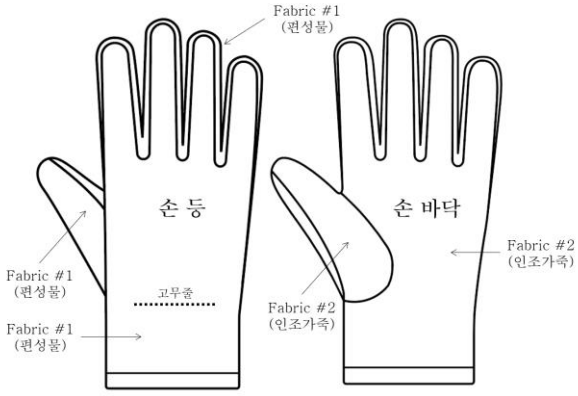
구분	번호	설문 내용
인구통계학적 특성	1	연령
	2	직업
군 복무에 대한 일반사항	3	군 복무 시기
	4	군 소속
전투용 장갑의 착용 실태	5	군 복무 기간 동안 착용한 전투용 장갑의 종류
	6	전투용 장갑 착용이 권장되었던 전술 상황
	7	전투용 장갑의 실제로 착용되었던 전술 상황
	8	전투용 장갑의 착용 권장 상황과 실제 착용 상황이 다른 이유

제 2 절 전투용 장갑의 적정 맞음새와 손실계수비 도출

본 연구에서는 원활한 전술 활동을 위해 다양한 동작 조건에서의 전투용 장갑 적정 맞음새를 분석하고 주관적, 객관적 허용 장갑 구간을 도출하여 전투용 장갑의 사이즈 시스템 개발에 투입될 손실계수비를 산출하고자 하였다.

1. 실험용 장갑의 제작

실험용 장갑은 설문 조사 결과에 따라 가장 많은 응답자가 군 복무 시 착용하였다고 답한 전투용 장갑을 기반으로 제작되었다(그림 7).



[그림 7] 실험용 장갑의 도식화

1.1. 실험용 장갑의 치수

본 연구의 결과가 대한민국 군의 전투용 장갑 치수 개선과 보급에 실제로 적용될 수 있도록 현재 군에서 보급되고 있는 전투용 장갑의 현행 사이즈 시스템을 반영하여 제작하였다. 장갑의 특성상 작은 치수의 변화에도 사이즈의 적합성 판정에 민감하므로 치수 간격을 편차를 작게 설계하였다. M 사이즈를 기본으로 장갑길이와 장갑너비의 치수 간격을

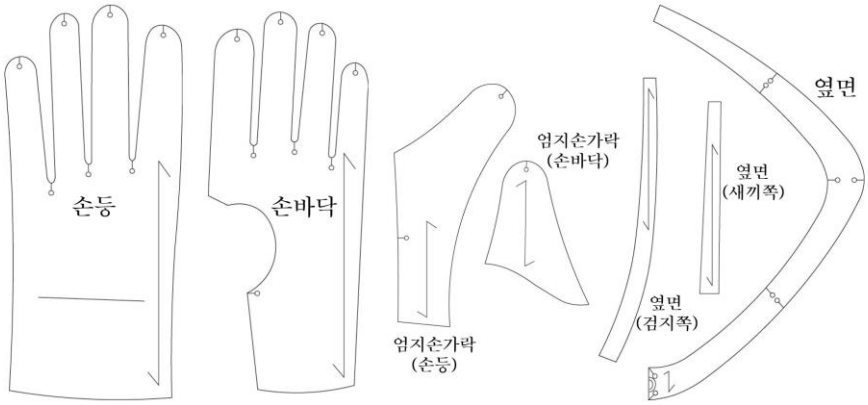
2 mm로 동일하게 그레이딩하였으며, 다른 사이즈의 항목 간 비율은 현 전투용 장갑의 비율과 동일하게 반영하였다(표 7).

[표 7] 실험용 장갑의 사이즈 전개 (단위: mm)

사이즈	장갑길이	장갑너비	사이즈	장갑길이	장갑너비
1호	226	93	10호	244	111
2호	228	95	11호	246	113
3호	230	97	12호	248	115
4호	232	99	13호	250	117
5호	234	101	14호	252	119
6호	236	103	15호	254	121
7호	238	105	16호	256	123
8호	240	107	17호	258	125
9호	242	109	18호	260	127

1.2. 실험용 장갑의 패턴

실험용 장갑의 패턴은 현용 전투용 장갑의 패턴을 기반으로 설계되었으며 그림 8과 같다.



[그림 8] 실험용 장갑의 패턴

1.3. 실험용 장갑의 소재

실험용 장갑의 소재 또한 현용 전투용 장갑의 소재 물성과 유사한 Fabric 1, Fabric 2를 선정하였다. 각 소재의 물성은 표 8에 정리하였다.

[표 8] 실험용 장갑 소재의 물성

항목	혼용률 (%)	조직	무게 (g/m²)	두께 (mm)	인장강도 (N/mm²)	신도 (%)
Fabric 1	Cotton 50%, Polyester 50%	횡편 양면 저지	309.33	1.23	경사: 0.09	경사: 64.51
					위사: 0.12	위사: 198.54
Fabric 2	Polyurethane 65%, Rayon 35%	–	373.33	0.72	경사: 0.09	경사: 21.145
					위사: 0.05	위사: 31.71

2. 실험 참여자

본 실험의 참여자는 20~30대의 군 복무 기간 중 전술 훈련 참여 경험이 있는 건강한 성인 남성 30명이다. 본 실험은 실험용 장갑 착용 상태에서 전술 활동 시 수행하는 사격 자세와 로프 자세 등의 다양한 손 동작들을 구현하므로, 실제 군 복무 기간동안 전술 훈련에 참여한 경험이 있는 참여자를 선별하였다.

3. 사이즈 적합 장갑과 주관적 허용 장갑 구간 도출

본 실험에서는 다양한 전술 동작 조건 하에서 18가지 사이즈의 장갑 중 실험 참여자 손에 잘 맞는 '사이즈 적합 장갑'과 실험 참여자에게 작거나 크지만 착용 및 작업이 가능한 '허용 장갑 구간'을 도출하여 장갑의 적정 맞음새를 분석하였다. 실험은 설문 조사 결과를

반영하여 정적 자세와 동적 자세(사격 자세와 로프 자세) 조건에서 수행되었으며 실험 순서는 다음과 같다.

첫째, 실험 참여자가 손을 자연스럽게 편 정적 자세에서 18가지 사이즈의 실험용 장갑을 착용해보며 자신의 손에 잘 맞다고 생각하는 ‘정적 자세에서의 사이즈 적합 장갑’을 선택하였다. 실험 참여자의 최초 착용 장갑은 무작위로 주어졌으며, 해당 장갑보다 크거나 작은 장갑을 연구자에게 요구하여 장갑의 사이즈를 단계적으로 늘리고 줄이면서 정적 상태에서의 사이즈 적합 장갑을 선정하였다.

둘째, 실험 참여자들은 자신이 선택한 사이즈 적합 장갑보다 작은 장갑과 큰 장갑을 차례로 착용해보면서 정적 자세에서 허용 가능한 최소 장갑과 최대 장갑을 선정하여 ‘정적 상태에서의 허용 장갑 구간’을 도출하였다.

셋째, 전술 훈련 시 주된 손 동작인 사격 자세와 로프 자세를 수행하며 정적 자세에서와 마찬가지의 방법으로 '동적 자세에서의 사이즈 적합 장갑과 허용 장갑의 구간'을 도출하였다. 사격 동작을 구현을 위한 모형 소총은 전술 훈련 시 사용되는 K2 소총의 외관을 모방한 모형 소총을 실제 소총과 무게를 동일하게 조정한 뒤 사용하였으며, 로프 자세 구현을 위한 로프는 전술 훈련 시 낙하산 로프로 쓰이는 두께 4 mm의 제품을 1 m 길이로 재단하여 사용하였다(그림 9). 로프 자세와 사격 자세의 예시는 그림 10과 같다.

실험 참여자들은 정적 자세, 사격 자세, 로프 자세 조건 하에서 사이즈 적합 장갑과 허용 장갑 구간을 선정하는 동시에, 심층 면접을 통해 장갑의 사이즈에 따라 각 전술 동작이 구체적으로 어떤 부분에서 불편하고 방해가 되는지 자유롭게 응답하였다.

[그림 9] 실험에 사용된 모형 K2 소총(좌)과 낙하산 로프(우)

[그림 10] 사격 자세(좌)와 로프 자세(우)의 예시

4. 객관적 허용 장갑 구간 도출

객관적 허용 장갑 구간을 도출하기 위해 기민성 측정과 악력 측정을 실시하였다. 기민성 측정은 Purdue pegboard test(그림 11)를 수행하여 장갑의 사이즈에 따른 손 기민성의 변화를 측정하였으며, 측정 순서는 다음과 같다.

실험 참여자가 장갑 착용 상태에서 오른손으로 핀을 한번에 하나씩 집어 페그보드의 맨 위쪽 구멍부터 하나씩 아래로 채워 넣어 한 줄을 완성하는 시간을 측정하였다. 측정은 정적 상태에서의 사이즈 적합 장갑, 정적 상태에서의 사이즈 적합 장갑보다 한 치수 작은 장갑, 두 치수 작은 장갑, 세 치수 작은 장갑, 한 치수 큰 장갑, 두 치수 큰 장갑, 세 치수 큰 장갑을 착용한 상태에서 수행하여 총 7회 반복하였다. 이때, 7종의 장갑 착용 순서를 무작위로 배치하여 실험의 반복 수행에 따라 참여자의 페그보드 수행 능력이 향상 혹은 피로에 의해 감퇴하는 것의

영향을 최소화하였다. 또한 실험 수행에 따른 참여자의 피로도를 고려하여 페그보드 한 세트 완료 시마다 약 3분~5분의 휴식 시간 및 장갑 교체 시간을 갖도록 하였다.

그 다음으로 실험 참여자들은 악력계(그림 12)를 이용하여 장갑 사이즈에 따른 손 악력의 변화를 측정하였으며 측정 순서는 다음과 같다.

실험 참여자는 정적 상태에서의 사이즈 적합 장갑, 정적 상태에서의 사이즈 적합 장갑보다 한 치수 작은 장갑부터 다섯 치수 작은 장갑, 한 치수 큰 장갑부터 다섯 치수 큰 장갑 총 11종을 착용한 상태에서 각각의 악력을 측정하였다. 이때, 11종의 장갑 착용 순서를 무작위로 배치하여 실험의 반복 수행에 따라 참여자의 악력이 향상 혹은 피로에 의해 감퇴하는 것의 영향을 최소화하였다. 또한 실험 수행에 따른 참여자의 피로도를 고려하여 한 세트 완료 시마다 약 3분~5분의 휴식 시간 및 장갑 교체 시간을 갖도록 하였다.

[그림 11] Purdue pegboard test

[그림 12] 악력계

5. 분석 방법

5.1. 적정 맞음새 분석

전투용 장갑의 적정 맞음새를 분석하기 위해 정적 자세와 사격 자세, 정적 자세와 로프 자세 간 사이즈 적합 장갑과 허용 장갑 구간 변화를 SPSS 26.0 프로그램의 대응표본 t-검정을 통해 통계적으로 분석하였다. 유의한 변화가 확인된 항목에 대해서는 실험과 함께 진행된 심층 면접의 응답 결과를 통해 각 경우의 이유에 대해 상세히 분석하였다.

5.2. 손실계수비 도출

정적 자세, 사격 자세, 로프 자세에서의 주관적 허용 장갑 구간과 기민성 측정, 악력 측정에 따른 객관적 허용 장갑 구간의 교집합을 통해 최종 허용 장갑 구간을 산출하였다. 최종 허용 장갑 구간에서 사이즈 적합 장갑을 기준으로 작은 치수의 허용차를 α, 큰 치수의 허용차를 β라고 하면, 손실계수비 C_2/C_1는 ⑧과 같이 산출할 수 있다.

$$C_2/C_1 = (\beta/\alpha)^2 \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{⑧}$$

5.3. 전투용 장갑의 기준 치수 항목 선정

실험 참여자의 손 계측치와 사이즈 적합 장갑의 상관성을 기반으로 기준 치수 항목과 참고 치수 항목을 선정고자, 실험 참여자의 손길이, 손너비, 손가락의 길이를 측정하였다. 각 항목에 대한 측정은 사이즈코리아 8차 인체치수조사사업의 손길이, 손너비, 손가락길이 측정법을 따랐으며(표 9, 그림 13), 통계 분석은 SPSS 26.0 프로그램의 상관관계분석을 수행하였다.

[표 9] 사이즈코리아 8차 인체치수조사사업의 손길이와 손너비 측정법

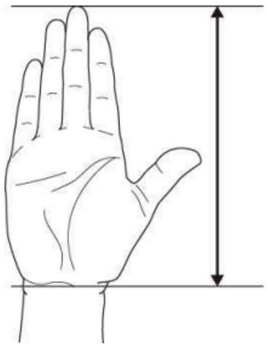
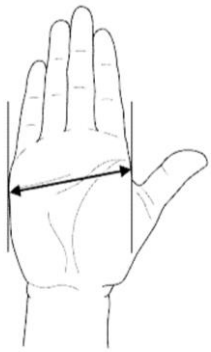
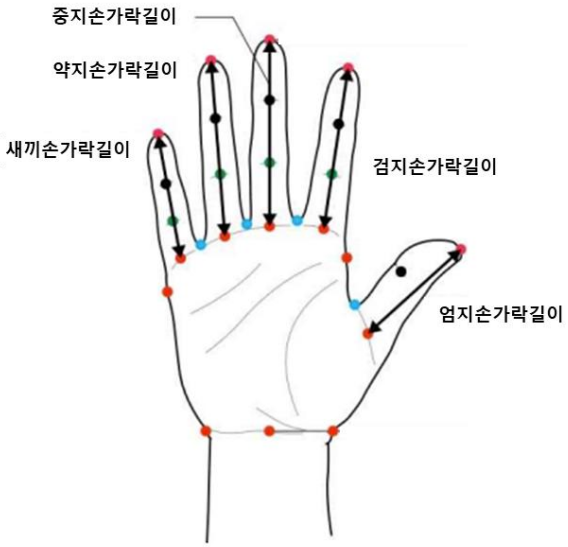
측정 항목	손길이	손너비
사이즈코리아 항목 명칭	손직선길이	손안쪽가쪽직선길이
		
정의	손목가쪽점 수준의 접힘선에서 손끝점까지의 직선 거리	손안쪽점에서 손가쪽점까지의 직선 거리
자세	모은손자세	모은손자세
측정 도구	마틴식 인체측정기기의 작은수평자	마틴식 인체측정기기의 작은수평자
측정 방법	손바닥이 위로 오게 측정대 위에 올려놓은 후 작은수평자로 손목가쪽점 수준의 접힘선에서 손끝점까지의 직선거리를 측정한다.	손바닥이 위로 오게 측정대 위에 올려놓고 작은수평자로 손안쪽점에서부터 손가쪽점까지의 거리를 측정한다.

그림 출처: Korean Agency for Technology and Standard. (2021). *The 8th size Korea: Final Report of Korean 3-dimensional Figure Measurement Survey.* https://sizekorea.kr/human-info/meas-report?measDegree=8



[그림 13] 사이즈코리아 8차 인체치수조사사업의 손가락길이 측정법

그림 출처: Korean Agency for Technology and Standard. (2021). *The 8th size Korea: Final Report of Korean 3-dimensional Figure Measurement Survey.* https://sizekorea.kr/human-info/meas-report?measDegree=8

제 3 절 전투용 장갑의 사이즈 시스템 최적화

본 연구의 전투용 장갑 사이즈 시스템 개발은 Park & Kim (1992)의 연구에서 제안한 손실함수(⑨)를 기반으로 Data-driven 방식의 최적화를 통해 수행되었다.

$$L(x) = \begin{cases} C_1(u-x)^2, \ if \ x \le u \\ C_2(x-u)^2, \ if \ x > u \end{cases} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \ ⑨$$

본 연구의 전투용 장갑의 사이즈 시스템 최적화는 사이즈코리아 8차 인체치수조사사업을 통해 수집된 20~30대 성인 남성 1,341명의 손길이와 손너비 데이터를 투입하여 수행하였으며, 실험 결과를 기반으로 제2절에서 도출한 적정 맞음새, 손실계수비, 기준 치수 항목을 적용하였다. 사이즈 수가 1개, 2개, 3개, 4개, 5개, 6개, 7개인 경우에 대하여 각각 최적화를 수행한 뒤, 사이즈 수에 따른 총손실과 생산 및 보급의 효율성을 전반적으로 고려하여 최종 사이즈 수를 결정하였다.

제 4 절 전투용 장갑의 최적 사이즈 시스템 검증

본 연구에서 제안한 전투용 장갑의 최적 사이즈 시스템을 검증하고자 전투용 장갑의 현행 사이즈 시스템과 커버율을 비교하였다. 현행 사이즈 시스템은 S, M, L, XL 네 가지의 사이즈로 구성되어 사이즈에 따라 장갑 길이와 장갑 너비를 5 mm 간격으로 전개하고 있으며, 이에 따른 제품 치수만 제시하고 있을 뿐 각 사이즈에 해당하는 인체 치수를 명시하지 않았다. 따라서 본 연구에서는 현용 전투용 장갑의 패턴 상 손목 둘레 기준선과 밑단 둘레 기준선 간의 차이가 60 mm 인 점을 기반으로 각 사이즈 별 손길이를 추정하였다. 또한 사이즈 코리아 8차 인체치수조사사업 데이터를 분석하여 M 사이즈의 손길이에 해당하는 손너비를 구한 뒤, 이를 기준으로 5 mm 간격으로 전개하여 현행 사이즈 시스템의 인체 치수를 도출하였다(표 10).

[표 10] 현행 사이즈 시스템의 제품 치수와 인체 치수 (단위: mm)

	S	M	L	XL
장갑 길이	235 ± 3	240 ± 3	245 ± 3	250 ± 3
장갑 너비	100~104	105~109	110~114	115~119
손길이	175	180	185	190
손너비	80	85	90	95

최종적으로 도출된 전투용 장갑의 현행 사이즈 시스템의 인체 치수와 본 연구에서 제안한 최적 사이즈 시스템은 SPSS 26.0 프로그램의 교차분석을 통해 각각의 전체 커버율을 도출하여 검증하였다.

제 4 장 결 과

제 1 절 전투용 장갑 착용 실태 조사

1. 조사 참여자의 특성

본 설문조사의 참여자 104명의 평균 연령은 만 26.0세이며, 20세~24세 35명(33.6%), 25세~29세 53명(51.0%), 30세~34세 8명(7.7%), 35세~39세 8명(7.7%)으로 구성되었다(표 11). 참여자들의 직업군은 학생 65명(62.5%), 직장인 33명(31.7%), 직업 군인 3명(2.9%), 기타 3명(2.9%)으로 조사되었다. 본 설문조사에는 2004년 입대자부터 현재 군 복무 중인 현역 군인까지 참여한 것으로 나타났으며, 참여자들의 군 복무 당시 소속은 육군 71명(68.3%), 공군 25명(24.0%), 해군 4명(3.8%), 의경 3명(2.9%), 기타 1명(1.0%)으로 조사되었다.

[표 11] 조사 참여자의 연령 분포

	빈도 (명)	백분율 (%)
20세 ~ 24세	35	33.6
25세 ~ 29세	53	51.0
30세 ~ 34세	8	7.7
35세 ~ 39세	8	7.7
전체	104	100.0

2. 착용 실태

군 복무 시 착용한 전투용 장갑의 종류에 대한 조사 결과, 전투용 장갑 2가 58.7%로 가장 높은 응답율을 보였다(표 12). 따라서 본 연구의 실험용 장갑은 전투용 장갑 2의 설계 방식과 사이즈 시스템을 기반으로 제작되었다. 추가적으로 31.7%의 응답율을 보인 전투용 장갑 1은 위험한 환경에서 특수한 임무를 수행하는 장병을 위주로 보급되고 있음이 파악되었다.

[표 12] 군 복무 시 착용한 전투용 장갑의 종류

	전투용 장갑1	전투용 장갑2	전투용 장갑3	전투용 장갑4
전투용 장갑				
응답 빈도 (명)	33	61	7	3
백분율 (%)	31.7	58.7	6.7	2.9

전투용 장갑 착용이 권장되었던 전술 상황과 실제 착용한 상황에 대한 조사 결과, 전반적으로 장갑 착용과 관련성이 높은 전술 상황은 날카로운 물질과 접촉, 무거운 물건 운반, 각개전투, 사격, 차가운(추운) 환경, 레펠(로프 하강)인 것으로 나타났다.

각 전술 상황에서 전투용 장갑 착용이 권장되었다고 응답한 비율과 전투용 장갑이 실제로 착용되었다고 응답한 비율을 비교한 결과, 다양한 전술 상황 중 특히 사격, 레펠(로프 하강), 각개전투, 근접전에서 전투용 장갑 착용이 권장된 것에 비해 실제로 착용한 비율이 10% 이상 낮은 것으로 파악되었다(표 13).

[표 13] 전투용 장갑 착용 권장 비율과 실제로 착용 비율

전술 활동	착용이 권장되었다고 응답한 비율(A)	실제로 착용되었다고 응답한 비율(B)	A-B
날카로운 물질과 접촉	62(59.6%)	60(57.7%)	2(1.9%)
무거운 물건 운반	54(51.9%)	46(44.2%)	8(7.7%)
각개전투	54(51.9%)	41(39.4%)	7(12.5%)
사격	48(46.2%)	30(28.8%)	18(17.4%)
차가운(추운) 환경	46(44.2%)	39(37.5%)	7(6.7%)
레펠(로프 하강)	38(36.5%)	22(21.2%)	16(15.3%)
행군	21(20.2%)	14(13.5%)	7(6.7%)
수류탄	19(18.3%)	11(10.6%)	8(7.7%)
근접전	19(18.3%)	6(5.8%)	13(12.5%)
화생방	17(16.3%)	8(7.7%)	9(8.6%)
뜨거운(더운) 환경	12(11.5%)	9(8.7%)	3(2.8%)
전자/통신 장비 사용	6(5.8%)	2(1.9%)	4(3.9%)

이에 대한 이유를 묻는 주관식 문항에는

"육군의 지침상 전술 활동 시 전투용 장갑 착용을 권장하였는데, 실제로 착용이 되지 않은 이유는 야전 시 손 동작에 제한이 생기기 때문이다."

"사격을 할 때는 손의 감각이 중요한데, 전투용 장갑을 착용하면 두텁고 불편해서 오히려 방해가 되었다. 총기 분해 및 조립 역시 작은 부품이 많아 손의 감각이 중요해서 전투용 장갑을 착용하지 않는 것이 나았다."

"전투용 장갑을 착용한 상태에서는 여러가지 도구나 장비를 손에 꽉 움켜쥐기가 쉽지 않았다."

"각개전투 시 전투용 장갑을 착용하면 자유로운 손동작에 제약을 가해 불편하기 때문이다."

등의 응답이 수집되었다. 응답에 따르면, 병사들의 전술 훈련 상황을 고려할 때, 손부위의 부상 방지와 방한을 위해서는 전투용 장갑의 착용이 필수적임에도 불구하고 현재 보급되고 있는 전투용 장갑의 맞음새가 적합하지 않아 손의 동작과 감각을 방해하므로 실제로 착용하지 않는 것으로 보인다.

따라서 전투용 장갑의 사이즈 시스템을 개발하기 위해서는 전술 상황에서의 손 동작을 고려한 적정 맞음새를 도출하는 것이 선행되어야 할 것이다. 이에 따라 본 연구에서는 사이즈 시스템 구축을 위한 실험 시, 설문조사를 통해 도출한 사격, 레펠 (로프 하강), 각개전투, 근접전 등 전술 상황에서 요구되는 손 동작과 기민성, 악력 등 손 기능에 대한 항목을 설정하여 적정 맞음새를 도출하였다.

제 2 절 전투용 장갑의 적정 맞음새와 손실계수비 도출

1. 실험 참여자 특성

본 실험의 참여자는 군 복무를 마친 20대 또는 30대의 성인 남성 30명이며, 실험을 통해 수집된 참여자의 나이와 손부위 계측치의 최소값, 최대값, 평균, 표준편차는 표 14와 같다.

[표 14] 실험 참여자 특성

(n = 30)

	최소값	최대값	평균(표준편차)
나이 (세)	22	38	28(4)
손길이(mm)	178	205	191(7)
손너비(mm)	85	97	90(3)
엄지손가락 길이(mm)	48	63	53(3)
검지손가락 길이(mm)	58	77	65(5)
중지손가락 길이(mm)	66	80	74(4)
약지손가락 길이(mm)	74	88	81(4)
새끼손가락 길이(mm)	67	80	75(3)

2. 손 크기 요인에 따른 실험 결과 차이

본 연구에서는 실험 결과를 통계적으로 분석하기에 앞서 실험 참여자의 손 크기 요인에 따른 결과값의 차이에 대해 조사하였다. 따라서 본 연구에 참여한 대상자를 손 크기에 따라 네 그룹으로 구분한 뒤, 그룹 간 실험 결과를 ANOVA 분석을 통해 비교하였다. 연구 대상자의 그룹은 손 크기가 가장 작은 그룹을 그룹 1, 가장 큰 그룹을 그룹 4 로 지정하였으며, 그룹별 특성은 표 15 와 같다.

[표 15] 실험 참여자의 손 크기 그룹별 특성 (단위: mm)

	그룹 1 (n=9)	그룹 2 (n=6)	그룹 3 (n=7)	그룹 4 (n=8)
손길이 평균(표준편차)	182(2)	188(1)	194(1)	199(3)
손너비 평균(표준편차)	88(2)	89(3)	91(2)	92(3)

본 연구의 실험에서는 정적 자세, 사격 자세, 로프 자세 각각에서의 사이즈 적합 장갑과 사이즈 적합 장갑을 기준으로 작은 쪽 허용차, 큰 쪽 허용차를 구하여 허용 장갑 구간을 도출하였다. 따라서 ANOVA 분석과 Duncan 의 사후검정을 통해 각 자세에서의 작은 쪽 허용차와 큰 쪽 허용차의 결과가 그룹별로 차이를 보이지 않는지 확인하였다(표 16).

분석 결과에 따라 모든 실험 항목의 결과는 그룹 간 차이가 없는 것이 검증되었으므로, 동작 별 허용 장갑 구간을 도출할 때 실험 참여자의 손 크기 요인은 배제하였다.

[표 16] 실험 참여자의 손 크기 그룹별 실험 결과의 차이

		그룹 1 (n=9)	그룹 2 (n=6)	그룹 3 (n=7)	그룹 4 (n=8)	F
정적 자세	작은 쪽 허용차	3.38 A	3.25 A	4.17 A	3.88 A	0.365
	큰 쪽 허용차	4.63 A	4.50 A	3.50 A	3.38 A	1.097
사격 자세	작은 쪽 허용차	4.00 A	3.75 A	3.17 A	3.63 A	0.360
	큰 쪽 허용차	2.25 A	2.75 A	3.33 A	2.25 A	0.885
로프 자세	작은 쪽 허용차	4.25 A	3.50 A	4.50 A	5.13 A	0.196
	큰 쪽 허용차	1.75 A	1.50 A	1.50 A	0.75 A	0.305

3. 사이즈 적합 장갑과 주관적 허용 장갑 구간

3.1. 정적 자세에서의 사이즈 적합 장갑

실험 참여자들은 손을 자연스럽게 편 정적 자세에서 다양한 사이즈의 실험용 장갑을 착용해보고 자신에게 가장 적합하다고 생각하는 장갑을 선정하였다. 30명의 참여자들이 선택한 사이즈 적합 장갑은 최소 3호부터 최대 12호까지 분포하였으며, 평균은 6.46호로 도출되었다(표 17).

[표 17] 정적 자세에서의 사이즈 적합 장갑 (단위: 호)

	최소값	최대값	평균(표준편차)
사이즈 적합 장갑	3	12	6.46(2.158)

실험 참여자가 정적 자세에서 사이즈 적합 장갑을 선택하는데 영향을 미친 요인을 알아보기 위해 이변량 상관관계 분석을 수행하였다(표 18). 분석 결과에 따르면 사이즈 적합 장갑 치수에 대하여 손길이와 손너비 항목이 0.01 수준에서 유의한 상관관계를 보였으며, 중지손가락 길이 항목이 0.05 수준에서 유의한 상관관계를 보였다. 따라서 실험 참여자들은 정적 자세 조건에서 손길이, 손너비, 그리고 중지손가락 길이를 고려하여 자신에게 적합한 장갑을 선택한 것으로 사료된다.

[표 18] 정적 자세에서 사이즈 적합 장갑의 선정 요인

	사이즈 적합 장갑에 대한 Pearson 상관계수
손길이	0.535**
손너비	0.579**
엄지손가락 길이	0.103
검지손가락 길이	0.281
중지손가락 길이	0.426*
약지손가락 길이	0.337
새끼손가락 길이	0.384

** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

3.2. 정적 자세에서의 주관적 허용 장갑 구간

실험 참여자들은 자신이 선택한 사이즈 적합 장갑보다 작은 장갑과 큰 장갑을 차례로 착용해보면서 정적 자세에서 허용 가능한 최소 장갑과 최대 장갑을 선정하였다. 각각의 평균을 구한 결과, 최소 허용 장갑은 2.77호, 최대 허용 장갑은 10.42호 인 것으로 나타났다(표 19).

[표 19] 정적 자세에서의 허용 장갑 구간 (단위: 호)

	최소 허용 장갑	사이즈 적합 장갑	최대 허용 장갑
평균(표준편차)	2.77(1.583)	6.46(2.158)	10.42(2.301)

실험 참여자가 정적 자세에서 최소 허용 장갑과 최대 허용 장갑을 선택하는데 영향을 미친 요인을 알아보기 위해 이변량 상관관계 분석을 수행하였다(표 20). 분석 결과에 따르면 최소 허용 장갑 치수에 대하여 손길이와 손너비 항목이 0.01 수준에서 유의한 상관관계를 보였으며, 중지손가락 길이 항목이 0.05 수준에서 유의한 상관관계를 보였다. 따라서 최소 허용 장갑을 선택할 때에는 사이즈 적합 장갑 선택과 마찬가지로 손길이, 손너비, 중지손가락 길이가 영향을 미쳤음을 알 수

있다. 반면 최대 허용 장갑 치수에 관해서는 손너비 항목이 0.05 수준에서 유의한 상관관계를 보였다. 따라서 최대 허용 장갑 선택 시에는 손너비 항목이 관여되었음을 알 수 있다.

[표 20] 정적 자세에서 최소 허용 장갑과 최대 허용 장갑의 선정 요인

	최소 허용 장갑에 대한 Pearson 상관계수	최대 허용 장갑에 대한 Pearson 상관계수
손길이	0.548**	0.277
손너비	0.541**	0.433*
엄지손가락 길이	0.207	0.052
검지손가락 길이	0.235	0.187
중지손가락 길이	0.402*	0.241
약지손가락 길이	0.350	0.164
새끼손가락 길이	0.420*	0.125

** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

3.3. 사격 자세에서의 사이즈 적합 장갑

실험 참여자들은 실험용 전투용 장갑 착용 상태에서 모형 K2 소총을 사용하여 사격 손 동작을 취한 뒤, 사격 자세에서 가장 적합하다고 느껴지는 장갑의 사이즈를 선정하였다. 30명의 참여자가 선택한 사격 자세에서의 사이즈 적합 장갑은 최소 1호부터 최대 12호까지 분포하였으며, 평균은 5.35호로 나타났다(표 21).

[표 21] 사격 자세에서의 사이즈 적합 장갑 (단위: 호)

	최소값	최대값	평균(표준편차)
사이즈 적합 장갑	1	12	5.35(2.770)

실험 참여자가 사격 자세에서 사이즈 적합 장갑을 선택하는데 영향을 미친 요인을 알아보기 위해 이변량 상관관계 분석을 수행하였다(표 22). 분석 결과에 따르면 사이즈 적합 장갑에 대하여 손길이 항목이 0.01 수준에서 유의한 상관관계를 보였으며, 손너비와 검지손가락 길이 항목이 0.05 수준에서 유의한 상관관계를 보였다. 따라서 실험 참여자들은 사격 자세 조건에서 손길이, 손너비, 그리고 검지손가락 길이를 고려하여 자신에게 적합한 사이즈의 장갑을 선택하였다고 볼 수 있다.

[표 22] 사격 자세에서 사이즈 적합 장갑의 선정 요인

	사이즈 적합 장갑에 대한 Pearson 상관계수
손길이	0.615**
손너비	0.492*
엄지손가락 길이	0.283
검지손가락 길이	0.463*
중지손가락 길이	0.365
약지손가락 길이	0.377
새끼손가락 길이	0.357

** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

3.4. 사격 자세에서의 주관적 허용 장갑 구간

실험 참여자들은 정적 자세에서와 마찬가지로 사격 자세에서의 사이즈 적합 장갑보다 작은 장갑과 큰 장갑을 차례로 착용해보면서 사격 자세에서 허용 가능한 최소 장갑과 최대 장갑을 선정하였다. 각각의 평균을 구한 결과, 최소 허용 장갑은 2.81호, 최대 허용 장갑은 9.04호인 것으로 나타났다(표 23).

[표 23] 사격 자세에서의 허용 장갑 구간 (단위: 호)

	최소 허용 장갑	사이즈 적합 장갑	최대 허용 장갑
평균(표준편차)	2.81(1.980)	5.35(2.770)	9.04(3.256)

실험 참여자가 사격 자세에서 최소 허용 장갑과 최대 허용 장갑을 선택하는데 영향을 미친 요인을 알아보기 위해 이변량 상관관계 분석을 수행하였다(표 24). 분석 결과에 따르면 최소 허용 장갑 치수에 대하여 모든 측정 항목이 유의한 상관성을 보였다. 특히 손길이와 검지손가락 길이 항목은 0.01 수준에서 유의한 상관관계를 보여 높은 관련성을 나타냈으며, 나머지 손너비, 엄지손가락 길이, 중지손가락 길이, 약지손가락 길이, 새끼손가락 길이 항목 또한 0.05 수준에서 유의한 상관관계를 보였다. 따라서 최소 허용 장갑을 선택할 때에는 모든 측정 항목이 영향을 미쳤음을 알 수 있었으며, 그 중에서도 손길이와 검지손가락 길이가 중요하게 고려되었다고 판단된다. 반면 최대 허용 장갑 치수에 관해서는 모든 측정 항목과의 상관관계가 유의하지 않은 것으로 드러났다.

[표 24] 사격 자세에서 최소 허용 장갑과 최대 허용 장갑의 선정 요인

	최소 허용 장갑에 대한 Pearson 상관계수	최대 허용 장갑에 대한 Pearson 상관계수
손길이	0.677**	0.359
손너비	0.394*	0.284
엄지손가락 길이	0.479*	0.266
검지손가락 길이	0.536**	0.374
중지손가락 길이	0.425*	0.216
약지손가락 길이	0.413*	0.250
새끼손가락 길이	0.410*	0.219

** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

3.5. 로프 자세에서의 사이즈 적합 장갑

실험 참여자들은 실험용 전투용 장갑 착용 상태에서 군용 로프를 레펠 훈련에서와 같이 꽉 쥐어 당겨보거나 매듭을 묶고 풀어보며 로프 사용 자세에서 가장 적합하다고 느껴지는 장갑의 사이즈를 선정하였다. 30명의 참여자가 선택한 로프 자세에서의 사이즈 적합 장갑은 최소 1호부터 최대 9호까지 분포하였으며, 평균은 4.12호로 나타났다(표 25).

[표 25] 로프 자세에서의 사이즈 적합 장갑 (단위: 호)

	최소값	**최대값**	**평균(표준편차)**
사이즈 적합 장갑	1호	9호	4.12(2.304)

실험 참여자가 로프 자세에서 사이즈 적합 장갑을 선택하는데 영향을 미친 요인을 알아보기 위해 이변량 상관관계 분석을 수행하였다(표 26). 분석 결과에 따르면 적합 장갑 치수에 대하여 손길이 항목이 0.01 수준에서 유의한 상관관계를 보였으며, 손너비와 검지손가락 길이, 새끼손가락 길이 항목이 0.05 수준에서 유의한 상관관계를 보였다. 따라서 실험 참여자들은 사격 자세 조건에서 손길이, 손너비, 검지손가락 길이 그리고 새끼손가락 길이를 고려하여 자신에게 적합한 장갑을 선택하였다고 볼 수 있다.

[표 26] 로프 자세에서 사이즈 적합 장갑의 선정 요인

	사이즈 적합 장갑에 대한 Pearson 상관계수
손길이	0.505**
손너비	0.404*
엄지손가락 길이	0.201
검지손가락 길이	0.403*
중지손가락 길이	0.300
약지손가락 길이	0.372
새끼손가락 길이	0.419*

** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

3.6. 로프 자세에서의 주관적 허용 장갑 구간

실험 참여자들은 정적 자세 및 사격 자세에서와 마찬가지로 로프 자세에서의 사이즈 적합 장갑보다 작은 장갑과 큰 장갑을 차례로 착용해보면서 사격 자세에서 허용 가능한 최소 장갑과 최대 장갑을 선정하였다. 각각의 평균을 구한 결과, 최소 허용 장갑은 2.00호, 최대 허용 장갑은 7.81호 인 것으로 나타났다(표 27).

[표 27] 로프 자세에서의 허용 장갑 구간 (단위: 호)

	최소 허용 장갑	사이즈 적합 장갑	최대 허용 장갑
평균(표준편차)	2.00(1.549)	4.12(2.304)	7.81(2.546)

실험 참여자가 로프 자세에서 최소 허용 장갑과 최대 허용 장갑을 선택하는데 영향을 미친 요인을 알아보기 위해 이변량 상관관계 분석을 수행하였다(표 28). 분석 결과에 따르면 최소 허용 장갑 치수에 대하여 손길이 항목이 0.01 수준에서 유의한 상관관계를 보였다. 반면 최대 허용 장갑 치수에 관해서는 손너비 항목이 0.05 수준에서 유의한 상관관계를 보였다. 따라서 최소 허용 장갑 선택 시에는 손길이 항목이,

최대 허용 장갑 선택 시에는 손너비 항목이 관여되었음을 알 수 있었다.

[표 28] 로프 자세에서 최소 허용 장갑과 최대 허용 장갑의 선정 요인

	최소 허용 장갑에 대한 Pearson 상관계수	최대 허용 장갑에 대한 Pearson 상관계수
손길이	0.517**	0.308
손너비	0.369	0.391*
엄지손가락 길이	0.147	0.127
검지손가락 길이	0.319	0.384
중지손가락 길이	0.256	0.220
약지손가락 길이	0.283	0.270
새끼손가락 길이	0.310	0.365

** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

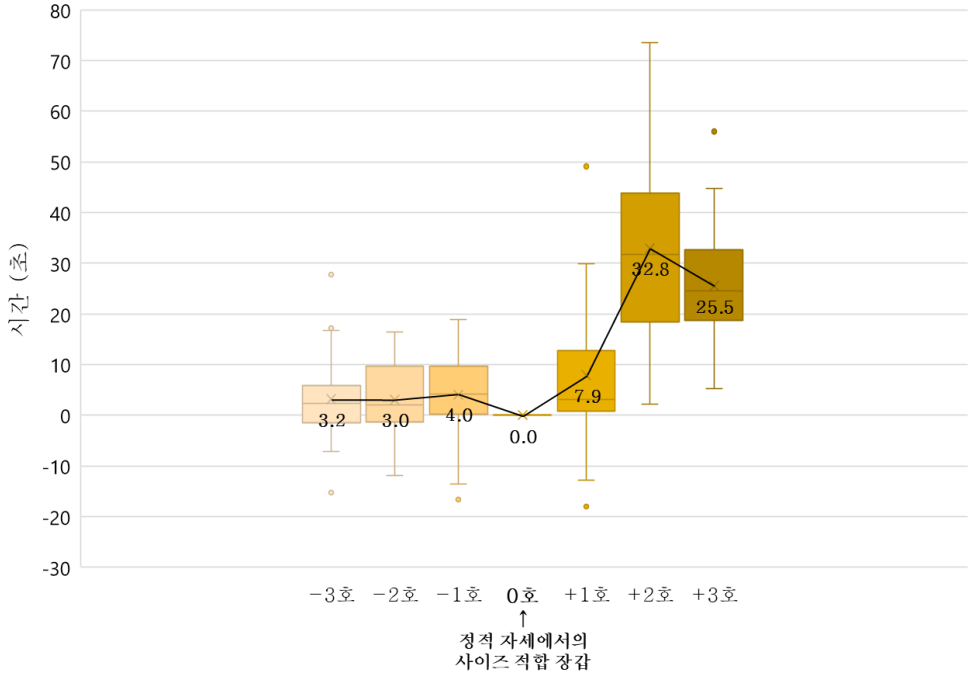
4. 객관적 허용 장갑 구간

4.1. 기민성에 따른 허용 장갑 구간

객관적 허용 장갑 구간의 도출은 기민성 측정과 악력 측정으로 구성되었다. 기민성은 정적 자세에서의 사이즈 적합 장갑 호수를 기점으로 세 호수 작은 장갑부터 세 호수 큰 장갑까지 총 7종의 장갑 착용 조건에서 Purdue pegboard test를 수행하여 측정하였다.

각 참여자마다 사이즈 적합 장갑 착용 상태에서 Purdue pegboard test를 완수한 시간을 0으로 환산하여 분석한 결과는 그림 14와 같다. 결과에 따르면 적합 장갑 기준 세 호수 작은 장갑(−3호)부터 한 호수 큰 장갑(+1호)까지는 기민성 측정 결과 상 10초 이내의 기록 차이를 보여 비교적 기민성에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 생각된다. 그러나 적합 장갑보다 두 호수 큰 장갑(+2호)과 세 호수 큰 장갑(+3호)은 25초 이상의 기록 차이를 보여 기민성에 저하에 상당한 영향을 미치는 것으로 파악되었다. 따라서, 기민성 측정에 따른 최소 허용 장갑은 −

3호 이하, 최대 허용 장갑은 +1호로 도출되었다.



[그림 14] 장갑 사이즈에 따른 기민성 측정 결과

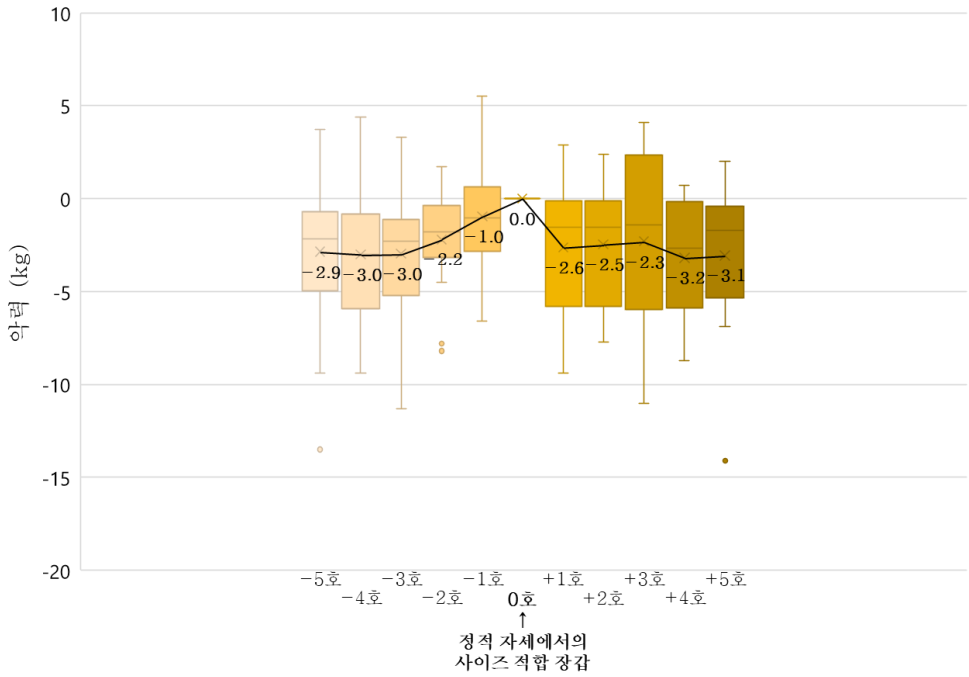
4.2. 악력에 따른 허용 장갑 구간

악력 측정은 정적 자세에서의 사이즈 적합 장갑 호수를 기점으로 다섯 호수 작은 장갑부터 다섯 호수 큰 장갑까지 총 11종의 장갑 착용 조건에서 수행하였다. 악력 측정 또한 기민성 측정과 마찬가지로 각 참여자마다 적합 장갑 착용 상태에서 악력을 0으로 환산하여 분석하였다(그림 15). 결과에 따르면 적합 장갑 기준 다섯 호수 작은 장갑(−5호)부터 다섯 호수 큰 장갑(+5호) 착용 조건 하의 악력은 모두 3.5kg 이내의 감소를 보였다. 따라서, 장갑 사이즈에 따라 악력의 두드러진 저하가 발생했다고 보기 어려우며 이를 통해 최소 허용 장갑과 최대 허용 장갑은 각각 −5호 이하, 5호 이상에서 발생할 것으로 예측하였다.

로프 자세 조건 하에서 주관적 허용 장갑 구간을 도출할 경우에는 로프의 두께가 얇아 로프를 쥘 때 손가락의 끝과 손바닥 면이 맞닿아 장갑의 손 끝 여유분이 쥐는 동작에 방해가 된다. 반면 악력계를 쥘 때에는 손가락 끝과 손바닥 면이 맞닿는 경우가 발생하지 않으므로 상대적으로 장갑 사이즈의 영향을 덜 받은 것이라고 볼 수 있다(그림 16). 악력 측정 결과에서 사이즈 적합 장갑 착용 조건보다 나머지 장갑 착용 조건에서 미세한 악력 사이즈를 보인 이유는 참여자들의 의견을 반영하여

"작은 장갑의 경우 장갑이 손을 조이는 힘이 악력계를 꽉 쥐는 동작을 방해하는 느낌이 들고, 큰 장갑의 경우 손과 장갑 사이의 여유분 악력계를 꽉 쥘 때 미끄러짐을 유발해서... (P9)"

라고 해석할 수 있다.



[그림 15] 장갑 사이즈에 따른 악력 측정 결과

[그림 16] 장갑 착용 상태에서 로프 쥐기 자세(좌)와
악력계 쥐기 자세(우)

5. 적정 맞음새 분석

정적 자세와 사격 자세 간 사이즈 적합 장갑과 허용 장갑 구간 변화를 통계적으로 분석하여 전투용 장갑의 적정 맞음새를 파악하기 위해 대응표본 t-검정을 수행하였다(표 29).

[표 29] 정적 자세와 사격 자세 간
사이즈 적합 장갑과 허용 장갑 구간 변화

	평균		t	p
	정적 자세	사격 자세		
최소 허용 장갑	2.77	2.81	−0.135	0.894
사이즈 적합 장갑	6.46	5.35	3.248	0.003**
최대 허용 장갑	10.42	9.04	2.807	0.010**

**$p < 0.01$

분석 결과에 따르면, 정적 자세에서의 최소 허용 장갑과 사격 자세에서의 최소 허용 장갑은 통계적으로 유의한 변화를 보이지

않았지만, 사이즈 적합 장갑과 최대 허용 장갑은 0.01 수준에서 유의한 감소를 보였다. 정적 자세 조건에 비해 사격 자세 조건에서 사이즈 적합 장갑과 최대 허용 장갑의 치수가 감소한 이유에 대하여 참여자들은

> *"사격 시 엄지손가락은 조정간을 조작하고 검지손가락은 방아쇠를 당기는 역할을 수행하는데, (그림 17, 그림 18과 같이) 검지손가락과 엄지손가락 끝에 여유분이 발생할 경우 정확한 조작이 어려워 화기를 안전하게 다루는 것이 사실상 불가능하다. (P12)"*

고 말했다. 뿐만 아니라 몇몇의 실험 참여자는

> *"장갑의 사이즈가 일정 수준 이상 크면 손과 장갑이 따로 논다는 느낌이 강하게 들기 때문에, 내가 화기를 완벽하게 통제하지 못할 수도 있다는 생각이 든다. 화기는 생명 안전과 직결된 장비이기 때문에 통제가 어렵다고 생각되면 매우 무섭고 불안하다. (P4)"*

라고 말하며, 장갑 사이즈가 클 경우 발생하는 심리적 불안감도 표출했다. 추가적으로

> *"실제 전술 상황에서는 왼손에 화기를 잡은 채 오른손만을 주머니에 넣어서 필요한 물건을 꺼내야 하는 상황이 많은데, 장갑의 사이즈가 크면 장갑의 손가락 끝이 접히면서 주머니에 들어가게 되어 신속하게 물건을 집기가 어렵다. (P9)"*

라는 부수적인 불편함도 제시되었다.

[그림 17] 큰 사이즈의 전투용 장갑 착용 시 화기 조정간 조작의 어려움 (좌: 적합 장갑 착용, 우: 큰 장갑 착용)

[그림 18] 큰 사이즈의 전투용 장갑 착용 시 화기 방아쇠 조작의 어려움 (좌: 적합 장갑 착용, 우: 큰 장갑 착용)

정적 자세와 로프 자세 간 사이즈 적합 장갑과 허용 장갑 구간 변화를 통계적으로 분석하여 전투용 장갑의 적정 맞음새를 파악하기 위해 대응표본 t-검정을 수행하였다(표 30).

[표 30] 정적 자세와 로프 자세 간
사이즈 적합 장갑과 허용 장갑 구간 변화

	평균		t	p
	정적 자세	로프 자세		
최소 허용 장갑	2.77	2.00	3.077	0.005**
사이즈 적합 장갑	6.46	4.12	7.604	0.000***
최대 허용 장갑	10.42	7.81	7.023	0.000***

***p < 0.001, **p < 0.01

분석 결과에 따르면, 정적 자세에서와 로프 자세에서의 최소 허용 장갑은 0.01 수준에서 유의한 감소를 보였으며, 사이즈 적합 장갑과 최대 허용 장갑은 0.001 수준에서 유의한 감소를 보였다. 먼저 정적 자세 조건에 비해 로프 자세 조건에서 사이즈 적합 장갑과 최대 허용 장갑의 치수가 두드러지게 감소한 이유에 대하여 참여자들은

"장갑의 사이즈가 조금이라도 크면 <u>로프로 매듭을 만들고 푸는 것에 큰 지장</u>이 생긴다. (P3)"

고 말하며, 로프 사용의 경우 허용할 수 있는 큰 사이즈 장갑의 구간이 매우 좁음을 강조하였다. 또한

"전술 활동 시에는 손 힘 하나에 의지해 로프를 오르거나 하강하기도 하는데, 이때 손 힘이 빠져서 로프를 놓치면 대형사고로도 이어질 수 있어 각별한 주의가 필요하다. 그런데

큰 사이즈의 장갑을 끼고 로프를 쥐면 (그림 19와 같이) 손가락 끝부분이 접혀 로프를 쥐는 동작을 방해하기 때문에 로프를 강하게 잡기 위해서 부가적인 힘이 필요하게 된다. 그러면 체력 소모가 빠르게 일어나 사고 위험이 높아질 것이다. (P20)"

"로프를 쥐었을 때, 장갑 손바닥 부분에 여유가 많으면 로프가 잘 미끄러지는 것 같다. (P7)"

라고 말하며, 장갑 사이즈가 클 경우 불필요한 체력 소진을 야기하거나 로프를 놓쳐 큰 사고로 이어질 위험에 대해 우려했다.

[그림 19] 큰 사이즈의 전투용 장갑 착용 시 로프 사용의 어려움
(좌: 적합 장갑 착용, 우: 큰 장갑 착용)

또한 정적 자세 조건에 비해 로프 자세 조건에서 최소 허용 장갑의 치수가 감소한 이유에 대하여 참여자들은

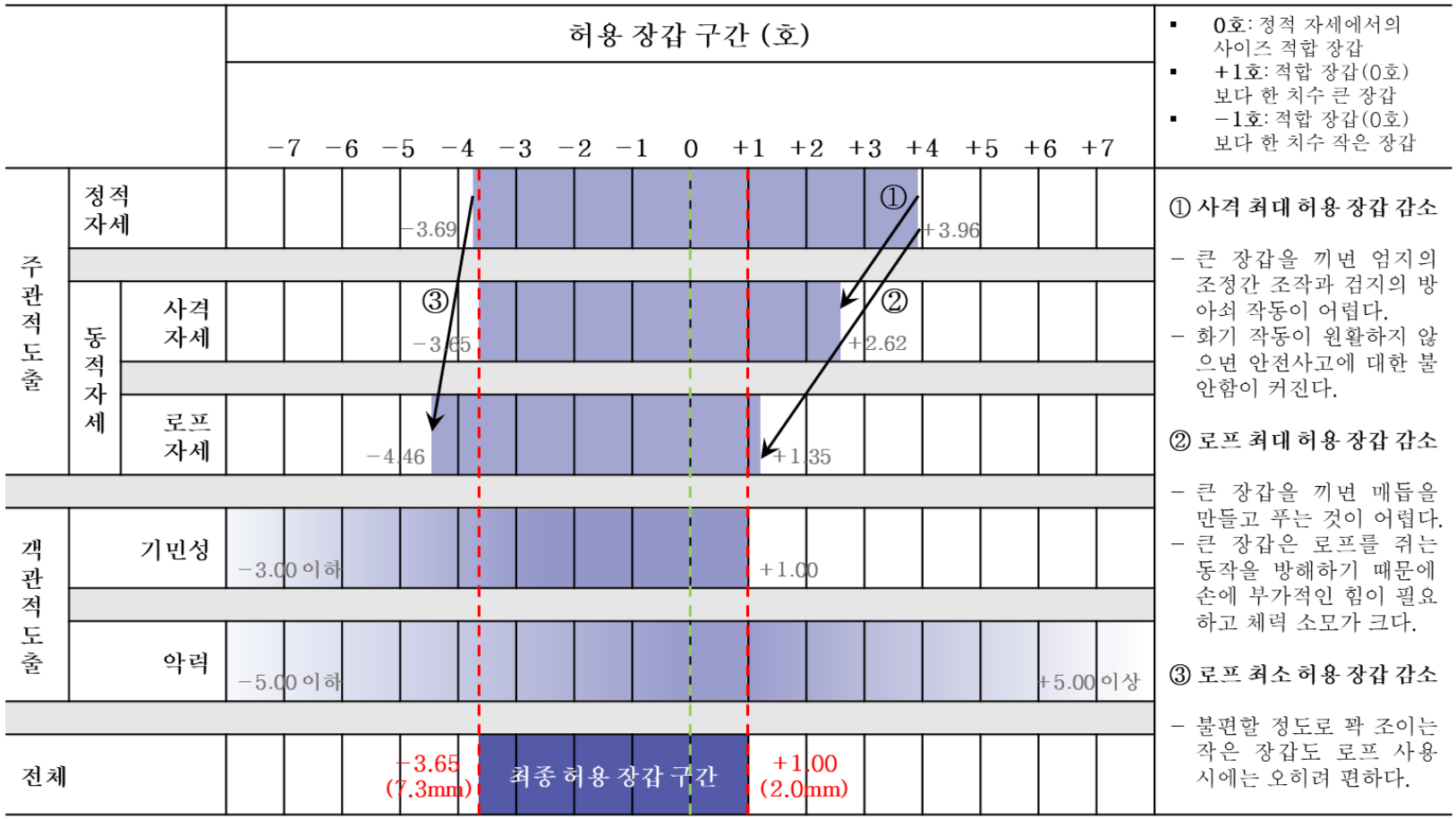
"아까 기본 자세(정적 자세)에서 타이트해서 불편하다고 느꼈던 장갑도 막상 끼고 로프를 잡아보니 편한 것 같다. 로프 사용만을 고려할 때는 차라리 장갑이 손에 비해 작아 꽉 끼는

것이 더 편한 것 같다. (P25)”

라고 설명하며 허용 가능한 작은 장갑의 구간이 단순히 넓어지는 것에서 더 나아가 평상시에는 작다고 느끼는 사이즈의 장갑이 로프 사용시에는 오히려 편하다는 의견을 제시하였다.

6. 손실계수비 도출

본 연구의 궁극적인 목적은 전반적인 전술 활동에서 우수한 맞음새를 보장하는 전투용 장갑의 최적 사이즈 시스템을 개발하는 것이다. 따라서 허용 장갑 구간 도출을 위해 수행한 다섯 가지의 실험 항목 모두를 만족하는 최종 허용 장갑의 구간을 도출하는 것이 중요하다. 분석의 용이성을 위해 모든 실험 항목에서 도출된 허용 장갑 구간을 정적 자세에서 사이즈 적합 장갑이 0호일 때로 환산하였다. 그 다음, 모든 실험 항목에서 도출된 허용 장갑 구간의 교집합을 그림 20과 같이 구하여 최종 최소 허용 장갑 −3.65호와 최종 최대 허용 장갑 +1호를 산출하였다. 즉, 전술 활동에 쓰이는 장갑은 착용자가 정적 자세에서 본인에게 적절히 잘 맞는다고 판단한 장갑을 기준으로 7.3 mm 작은 장갑부터 2.0 mm 큰 장갑까지 허용할 수 있다고 할 수 있다.



[그림 20] 최종 허용 장갑 구간 도출

최적화 과정에 사용되는 손실계수비는 Park & Kim (1992)의 연구에 따라 소비자의 착용 허용차 α와 β에 대하여 $C_2/C_1 = (\beta/\alpha)^2$의 식을 통해 구할 수 있다. 따라서, 본 연구에서 도출한 손실계수비 C_2/C_1의 결과는 ⑩과 같다.

$$C_2/C_1 = (\beta/\alpha)^2 = \left(\frac{2.0mm}{7.3mm}\right)^2 \approx 0.075 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{⑩}$$

이 결과는 본 논문의 이론적 배경에서 다룬 선행연구들의 손실계수비와 상반되는 특성을 보인다. 선행연구에서는 착용자가 자신의 사이즈보다 작은 사이즈를 선택하는 것이 큰 사이즈를 선택하는 것보다 손실이 크다고 가정하여 손실계수비를 1보다 큰 상수로 설정하거나, 작은 사이즈를 선택하는 것과 큰 사이즈를 선택하는 것의 손실이 같다고 가정하여 손실계수비를 1로 설정하여 적용하였다(Chun et al., 1996; Lee & Choi, 1996; Lee, 1998; Jang & Kim, 2006; Choi et al., 2009; Kim, 2018). 반면 본 연구에서 도출한 손실계수비는 1 미만의 상수로, 작은 사이즈를 선택하는 것이 큰 사이즈를 선택하는 것보다 손실이 매우 작다는 것을 의미한다.

사이즈가 적합하지 않은 전투용 장갑을 착용하는 것에서 발생하는 손실은 전술 상황에서 화기나 로프 등의 장비를 원활히 다루지 못하는 것이며, 이는 곧 생명과 직결되는 문제이므로 손실의 수준이 착용자에게 매우 심각하게 체감된다는 특징이 있다. 특히 심층 면접의 결과에 따르면 착용자들은 큰 치수의 장갑을 끼고 장비를 다룰 때 장비 통제의 어려움과 안전에 대한 불안감을 느끼는 것으로 나타났다. 따라서 착용자들은 큰 사이즈의 장갑을 착용함으로써 얻을 수 있는 편안함 대신 작은 장갑을 착용함으로써 얻을 수 있는 작업 용이성 및 안전성을 훨씬 더 중요하게 생각하여 큰 치수의 장갑보다 작은 치수의 장갑에 대한 허용도가 높은 것으로 볼 수 있다.

7. 치수 항목 선정 및 우선순위 설정

본 연구에서는 사이즈 적합 장갑을 선정하는데 높은 상관성을 보인 손부위 계측 항목을 치수 항목으로 선정하였다. 또한 치수 항목들의 우선순위를 도출하여 상위 두가지 항목을 기준 치수 항목으로, 나머지 항목을 참고 치수 항목으로 설정하였다. 실험 참여자가 정적 자세, 사격 자세, 로프 자세 각각에서 선정한 사이즈 적합 장갑의 치수와 손부위 계측치의 상관관계는 표 31과 같다.

[표 31] 정적, 사격, 로프 자세에서 선정한 사이즈 적합 장갑과 손부위 계측치 간의 상관관계

	사이즈 적합 장갑에 대한 Pearson 상관계수		
	정적 자세	동적 자세	
		사격 자세	로프 자세
손길이	0.535**	0.615**	0.505**
손너비	0.579**	0.492*	0.404*
엄지손가락 길이	0.103	0.283	0.201
검지손가락 길이	0.281	0.463*	0.403*
중지손가락 길이	0.426*	0.365	0.300
약지손가락 길이	0.337	0.377	0.372
새끼손가락 길이	0.384	0.357	0.419*

** $p < .01$, * $p < .05$

상관분석 결과에 따르면 손길이 항목과 손너비 항목은 모든 자세 조건에서 사이즈 적합 장갑 치수와 유의한 상관관계를 가졌다. 즉, 실험 참여자들은 모든 자세 조건에서 손길이와 손너비의 맞음새를 고려하여 사이즈 적합 장갑을 선정한 것으로 볼 수 있다. 두 항목은 전투용 장갑의 현행 사이즈 시스템에도 사용되는 기준 치수 항목으로서 장갑

맞음새에 중요한 기준이 되는 지표이므로 본 연구에서 제안하는 최적 사이즈 시스템에서도 치수 항목으로 사용하였다.

다섯 손가락의 길이는 자세 조건마다 사이즈 적합 장갑 치수와의 상관성이 상이하게 나타났다. 정적 자세 조건에서는 중지손가락의 길이가 0.05 수준에서 유의하여, 손을 자연스럽게 편 정적 자세에서는 중지손가락의 길이가 맞음새에 중요하게 고려됨을 알 수 있었다. 반면 사격 자세 조건에서는 검지손가락 길이 항목이 0.05 수준에서 유의한 상관성을 보이는 것으로 나타났다. 또한 로프 자세에서도 검지손가락 길이와 새끼손가락 길이가 사이즈 적합 장갑 치수에 대하여 0.05 수준에서 유의한 상관성을 보였다. 즉, 장갑이 빈번히 착용되는 전술 활동인 사격과 로프 사용 시에는 전투용 장갑의 검지손가락과 새끼손가락 맞음새가 장갑 치수의 적합성을 결정하는 중요한 요인이라고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 손길이, 손너비와 더불어 검지손가락 길이, 중지손가락 길이, 새끼손가락 길이 항목을 치수 항목으로 선정하여 전투용 장갑의 사이즈 시스템을 제안하였다.

앞서 선정한 치수 항목 중 기준 치수 항목과 참고 치수를 선별하기 위해 치수 항목과 사이즈 적합 장갑의 상관 정도를 비교하여 우선순위를 결정하였다(표 32). 실험 결과에 따르면 손길이 항목은 정적 자세, 사격 자세, 로프 자세 모두에서 0.01 수준의 유의한 상관성을 보였으므로 가장 높은 우선순위의 항목으로 설정하였다. 그 다음으로 손너비 항목은 정적 자세에서 0.01 수준의 유의한 상관성을, 사격 자세와 로프 자세에서 0.05 수준의 유의한 상관성을 보였으므로 2순위 항목으로 지정하였다. 따라서 다섯가지의 중요 치수 항목 중 손길이와 손너비 항목을 기준 치수 항목으로 채택하였으며, 나머지 검지손가락 길이, 중지손가락 길이, 새끼손가락 길이는 참고 치수로 설정하였다.

검지손가락 길이 항목은 사격 자세와 로프 자세 모두에서 0.05 수준의 유의한 상관성을 보였으므로 참고 치수 중 우선순위가 가장 높은 3순위 항목으로 설정하였다. 새끼손가락 길이와 중지손가락 길이는 각각 로프 자세와 정적 자세에서 0.05 수준의 유의한 상관성을 보였다.

전투용 장갑의 착용 목적을 고려하면 정적 자세에서의 맞음새보다 사격이나 로프 훈련 시의 맞음새가 더 우선되어야 할 것이므로, 본 연구에서는 로프 자세에서의 맞음새와 관련성이 높은 새끼손가락 길이를 4순위로, 정적 자세에서의 맞음새와 관련성이 높은 중지손가락 길이를 5순위로 설정하였다.

[표 32] 치수 항목의 우선순위와 기준 치수 설정

항목		사이즈 적합 장갑에 대한 Pearson 상관계수			우선순위
		정적 자세	동적 자세		
			사격 자세	로프 자세	
기준 치수	손길이	0.535**	0.615**	0.505**	1
	손너비	0.579**	0.492*	0.404*	2
참고 치수	검지손가락길이	0.281	0.463*	0.403*	3
	새끼손가락길이	0.384	0.357	0.419*	4
	중지손가락길이	0.426*	0.365	0.300	5

** $p < .01$, * $p < .05$

제 3 절 전투용 장갑의 사이즈 시스템 최적화

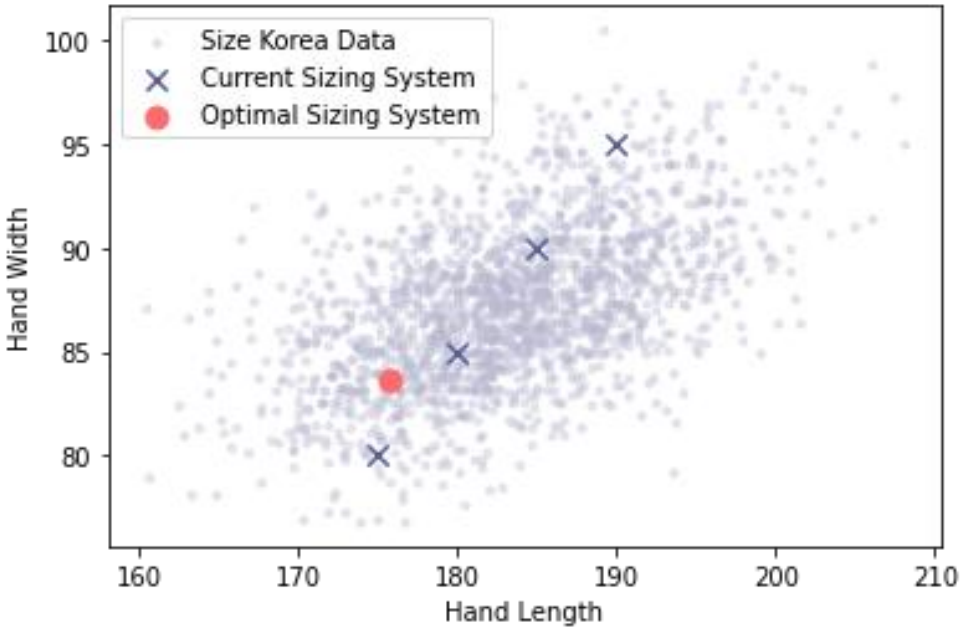
1. 최적 치수 도출

본 연구에서는 전투용 장갑의 최적 치수를 도출하고자 data-driven 방식의 최적화를 사용하였다. 최적화는 표 33 과 같이 사이즈코리아 8 차 인체치수조사사업에서 수집한 성인 남성 1,341 명의 손길이와 손너비 계측치를 투입하고 실험을 통해 산출된 손실계수비와 치수 항목을 적용하여 수행하였으며, 사이즈 수가 1 개, 2 개, 3 개, 4 개, 5 개, 6 개, 7 개인 경우에 대하여 각각 수행하여 결과를 비교하였다.

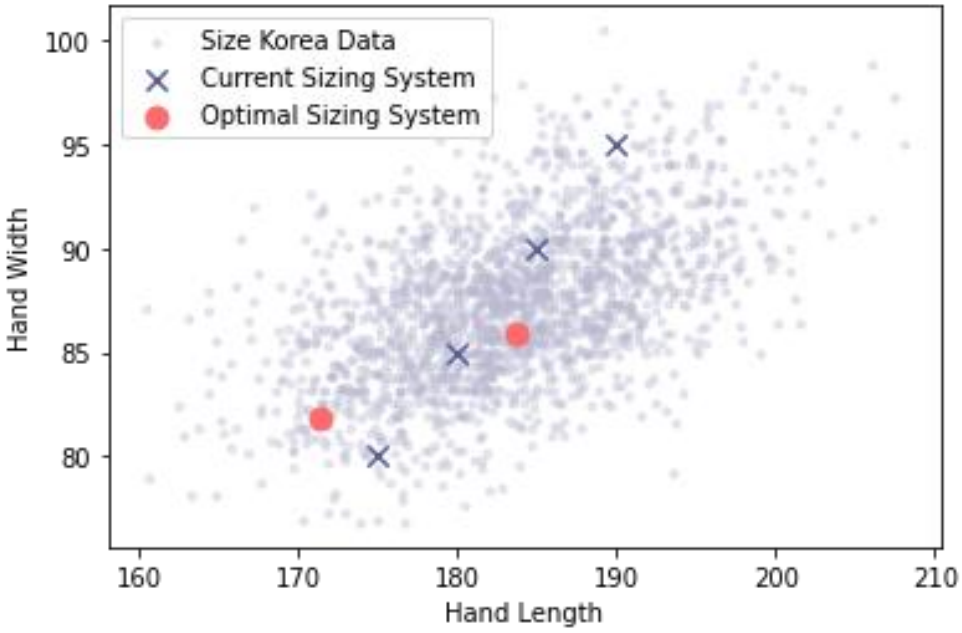
[표 33] 사이즈 시스템 최적화 조건

투입 데이터	사이즈코리아 8 차 인체치수조사사업 성인 남성 1,341 명의 손길이와 손너비 계측치
손실계수비	$C_2/C_1 = (\beta/\alpha)^2 = \left(\frac{2.0mm}{7.3mm}\right)^2 \approx 0.075$
기준 치수 항목	손길이, 손너비
사이즈 수	1 ~ 7 개

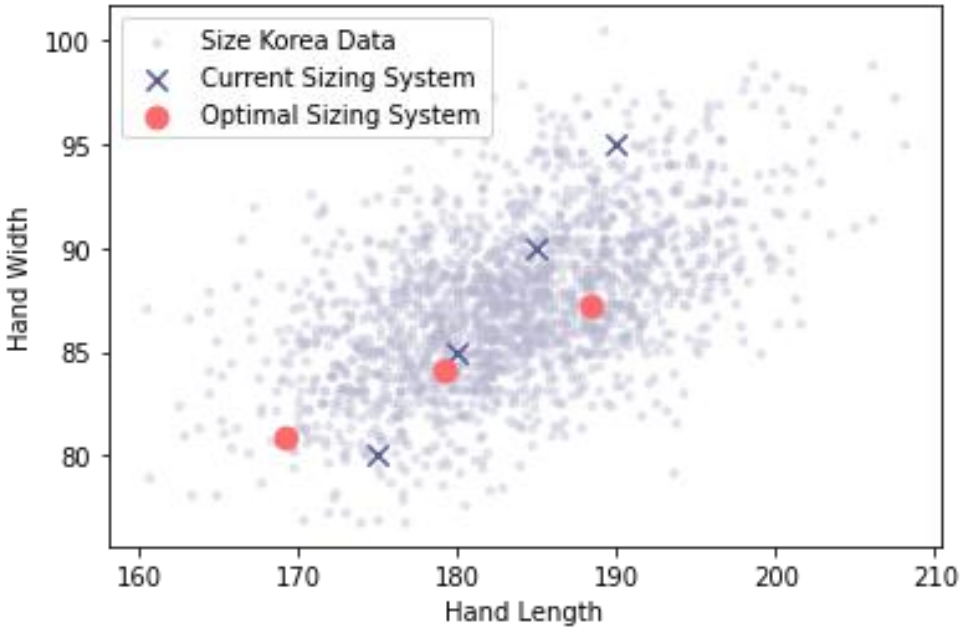
사이즈 수가 1~7개인 경우에 대한 최적화 결과는 그림 21, 그림 22, 그림 23, 그림 24, 그림 25, 그림 26, 그림 27과 같으며, 각 최적 치수의 구체적인 수치와 각 경우에 대한 총 손실은 표 34에 제시하였다.



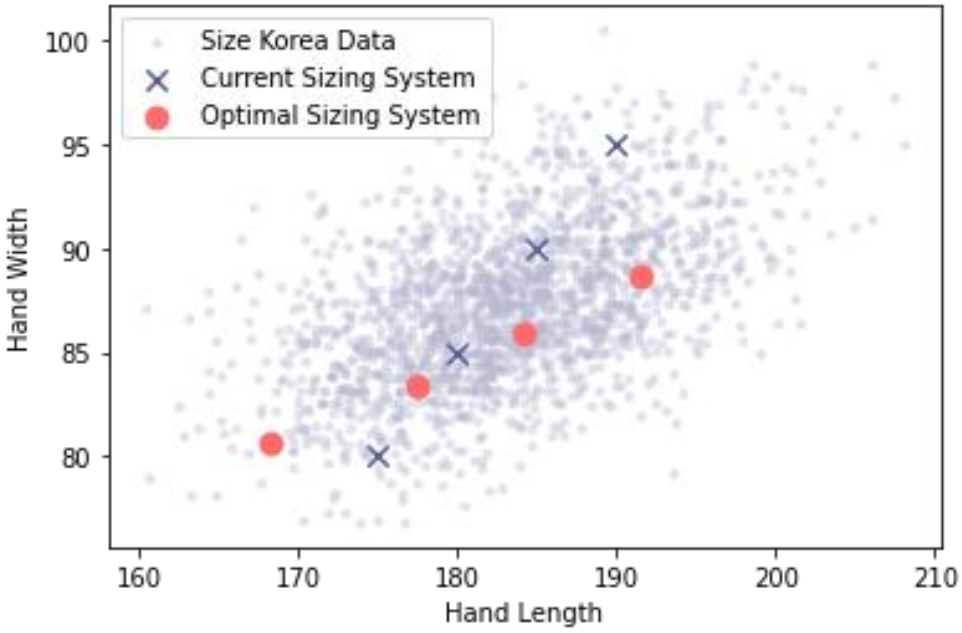
[그림 21] 사이즈 수가 1개일 때 최적화 결과 (단위: mm)



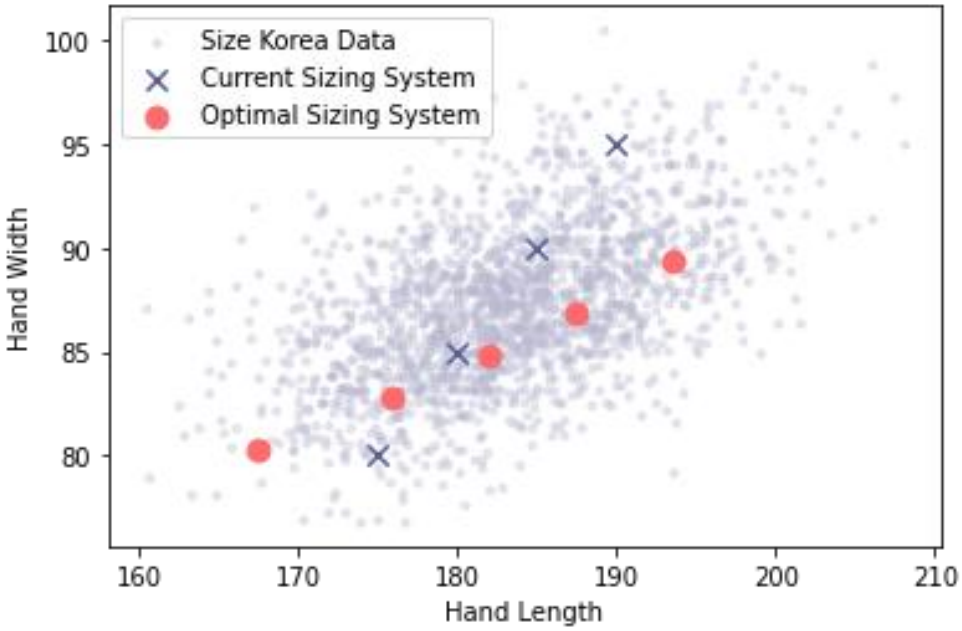
[그림 22] 사이즈 수가 2 개일 때 최적화 결과 (단위: mm)



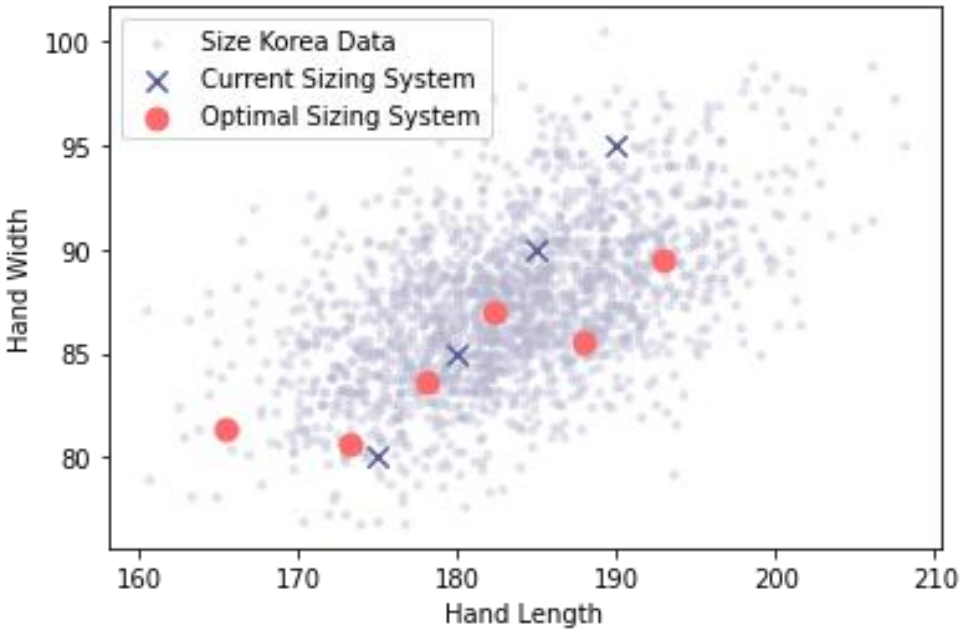
[그림 23] 사이즈 수가 3 개일 때 최적화 결과 (단위: mm)



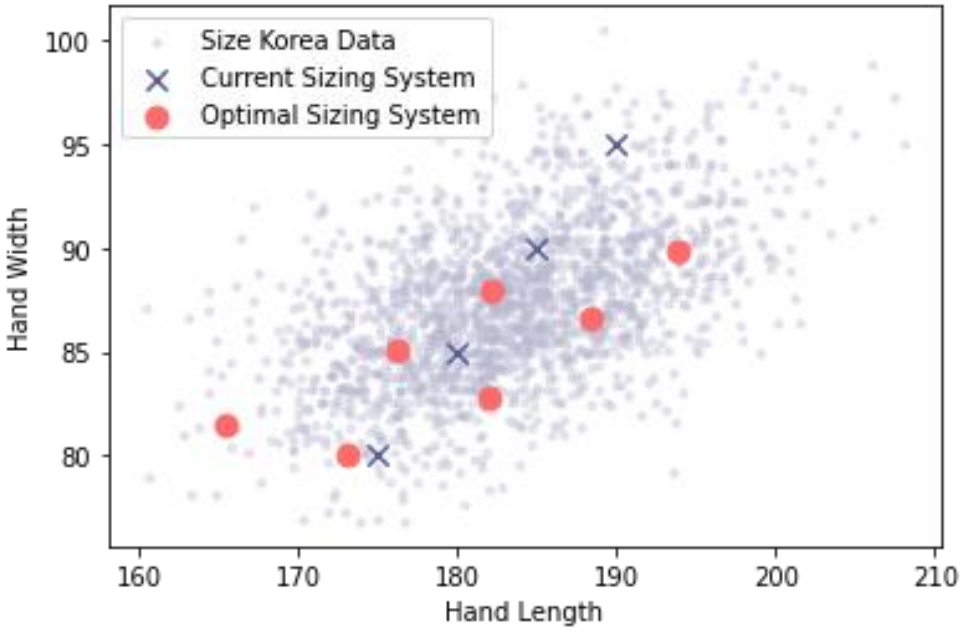
[그림 24] 사이즈 수가 4 개일 때 최적화 결과 (단위: mm)



[그림 25] 사이즈 수가 5 개일 때 최적화 결과 (단위: mm)



[그림 26] 사이즈 수가 6 개일 때 최적화 결과 (단위: mm)



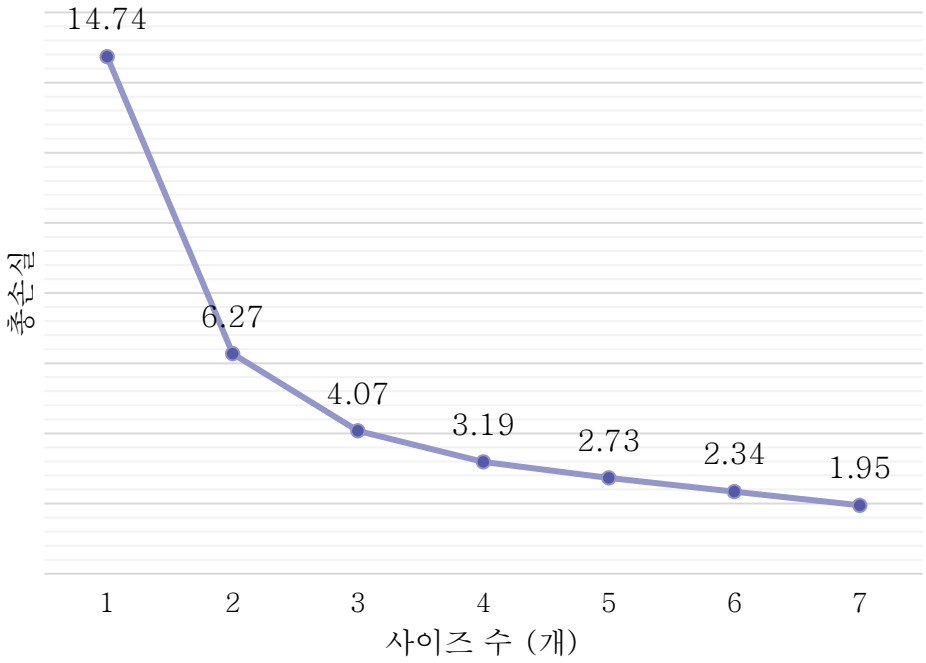
[그림 27] 사이즈 수가 7 개일 때 최적화 결과 (단위: mm)

사이즈 수를 1개로 제한한 그림 21의 결과에서 최적 치수는 전체 손길이와 손너비의 분포 대비 상대적으로 작은 쪽에 위치하였다. 이는 큰 치수의 장갑보다 작은 치수의 장갑에 대한 허용도가 높은 특성이 반영된 결과로 볼 수 있다. 사이즈 수를 2개, 3개, 4개, 5개, 6개, 7개로 설정하여 최적화를 한 경우에도 마찬가지로 최적 치수가 전체 손길이와 손너비의 분포 대비 작은 쪽에 나타남을 볼 수 있다(그림 22, 그림 23, 그림 24, 그림 25, 그림 26, 그림 27).

[표 34] 사이즈 수에 따른 최적 치수와 총손실

사이즈 수 (개)	항목	최적 치수 (mm)							총손실
		u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6	u_7	
1	손길이	175.82							14.74
	손너비	83.61							
2	손길이	171.44	183.76						6.27
	손너비	81.80	85.88						
3	손길이	169.14	179.17	188.34					4.07
	손너비	80.87	84.11	87.23					
4	손길이	168.31	177.43	184.12	191.48				3.19
	손너비	80.57	83.40	85.93	88.71				
5	손길이	167.42	175.89	182.07	187.40	193.58			2.73
	손너비	80.24	82.81	84.82	86.92	89.32			
6	손길이	165.53	173.24	178.09	182.32	187.94	192.92		2.34
	손너비	81.33	80.62	83.57	86.94	85.52	89.54		
7	손길이	165.47	173.06	176.18	182.22	181.94	188.39	193.83	1.95
	손너비	81.48	80.07	85.01	87.99	82.80	86.56	89.87	

표 34 의 사이즈 수에 따른 총손실 값을 그림 28 과 같이 나타내어 분석한 결과, 총손실은 사이즈 수가 증가함에 따라 감소하는 경향이 드러났다. 구간별 감소량은 사이즈 수가 증가할수록 작아져서, 사이즈 수가 1 개에서 2 개로 변화했을 때는 총손실의 값이 큰 폭으로 감소하였지만 사이즈가 4 개 이상부터는 총손실이 0.5 미만의 작은 폭으로 감소하여 총손실 값이 비슷한 수준을 유지하였다.



[그림 28] 사이즈 수에 따른 총손실의 변화

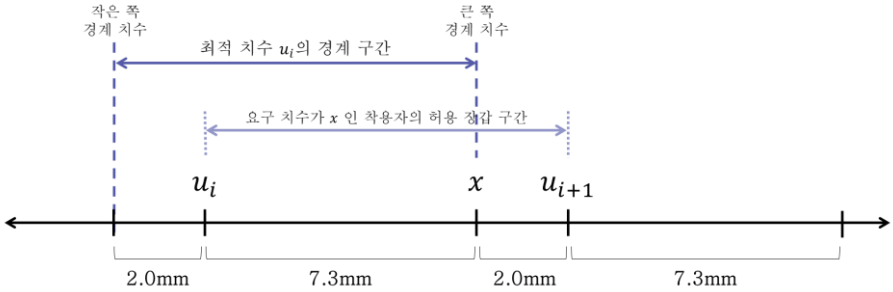
본 연구에서는 전투용 장갑의 최적 사이즈 시스템을 개발하기 위해 총손실의 값이 상대적으로 작은 4개, 5개, 6개, 7의 사이즈 수 조건 중 한 가지를 채택하고자 하였다. 이때 총손실 값이 비슷한 수준이라면 그 중 사이즈 수가 가장 적은 것이 생산과 보급 측면에서 효율적일 것이다. 따라서 총손실 값의 두드러진 차이가 없는 4개, 5개, 6개, 7개 조건 중 4개를 최종 사이즈 수로 채택하였다. 사이즈 수를 4개로 설정하여 치수를 최적화 한 결과는 표 35와 같다.

[표 35] 사이즈 수가 4개 일 때 최적 치수 (단위: mm)

	u_1	u_2	u_3	u_4
손길이	168.31	177.43	184.12	191.48
손너비	80.57	83.40	85.93	88.71

2. 경계 구간 설정

앞서 표 32에서 제시한 치수 항목의 우선순위에 따라 순위가 높은 손길이와 손너비 항목의 경계 구간을 산출하였다. 제2절의 실험 결과에 따르면 전술 활동을 고려한 최종 허용 장갑 구간은 사이즈 적합 장갑 0호를 기준으로 −3.65호부터 +1.00호까지이다(그림 20). 이는 실험용 장갑의 그레이딩을 반영하여 실제 길이로 환산했을 때 손길이와 손너비를 기준으로 −7.3 mm부터 +2.0 mm까지에 해당한다. 따라서 그림 29와 같이 요구 치수(인체 치수)가 x인 착용자는 자신의 요구 치수보다 손길이와 손너비가 7.3 mm 작은 최적 치수 u_i부터 요구 치수보다 2.0 mm 큰 최적 치수 u_{i+1}까지 착용할 수 있다. 이를 착용자의 관점이 아닌 최적 치수의 관점에서 해석하면 최적 치수 u_i는 u_i의 치수보다 손길이와 손너비가 2.0 mm 작은 착용자부터 7.3 mm 큰 착용자까지 착용이 가능하다고 할 수 있다.



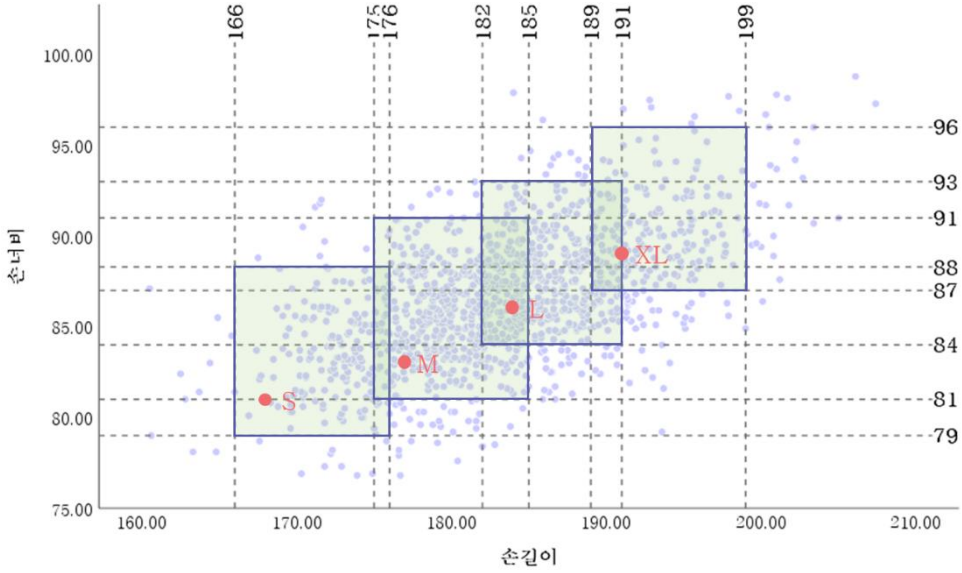
[그림 29] 착용자의 허용 장갑 구간과 최적 치수 경계 구간의 관계

이에 따라 경계 구간인 −2.0 mm부터 +7.3 mm까지를 표 35의 손길이와 손너비 항목의 최적 치수에 적용하여 경계 구간을 설정하였다(표 36). 최적 치수와 경계 구간은 편의성을 고려하여 소수점 첫째자리에서 반올림하여 자연수자리만 제시하였다.

[표 36] 전투용 장갑 사이즈 시스템의 최적 치수와 경계 구간 (단위: mm)

		u_1		u_2		u_3		u_4	
손길이	최적 치수	168		177		184		191	
	경계 구간	166	176	175	185	182	191	189	199
손너비	최적 치수	81		83		86		89	
	경계 구간	79	88	81	91	84	93	87	96

표 36의 최적 치수와 경계 구간에 따른 1차적인 S, M, L, XL를 설정하였으며, 이를 사이즈코리아 8차 인체치수조사사업 데이터의 20대, 30대 남성 손길이, 손너비 데이터 분포 위에 표현하였다(그림 30).



[그림 30] 전투용 장갑의 최적 치수와 경계 구간 (단위: mm)

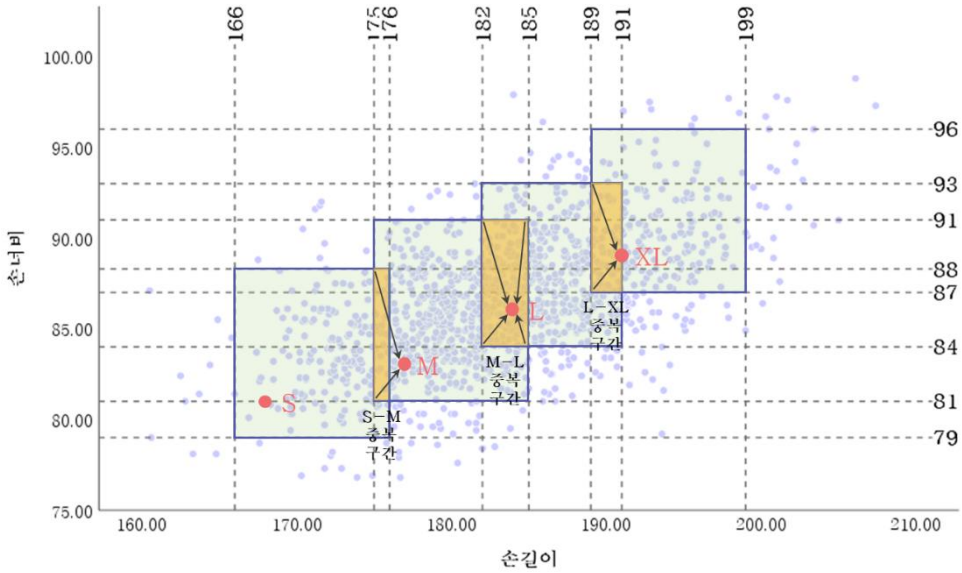
그림 30의 사이즈 시스템에는 2개의 사이즈가 중첩되는 구간이 발생한다(표 37). 따라서 중첩 구간에 해당되는 착용자들을 위한 사이즈 제안이 추가적으로 논의되어야 한다.

[표 37] 사이즈 중첩 구간 (단위: mm)

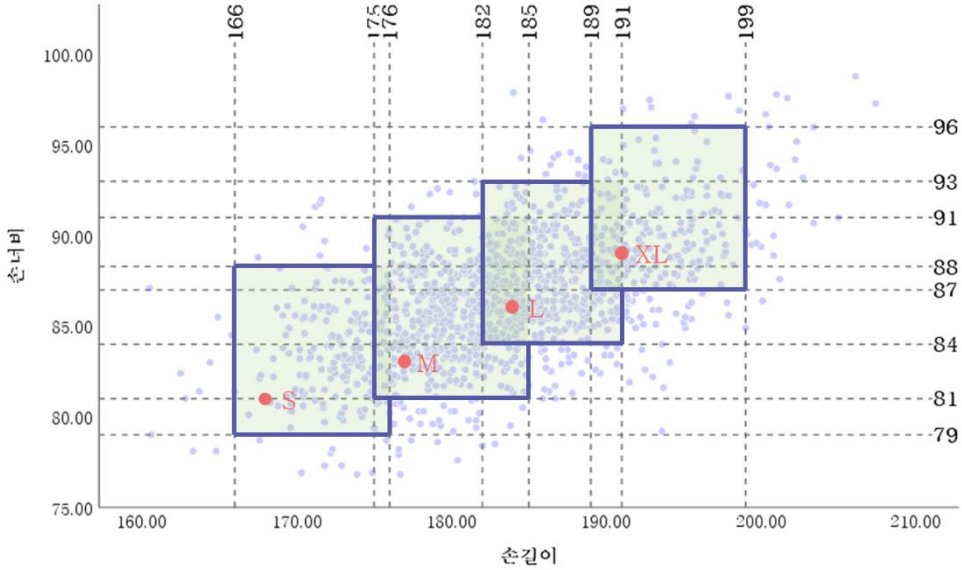
	S-M 중첩 구간	M-L 중첩 구간	L-XL 중첩 구간
손길이	175~176	182~185	189~191
손너비	81~88	84~91	87~93

3. 중첩 구간의 사이즈 정의

중첩 구간은 손길이와 손너비 중 우선순위가 높은 손길이 값을 기준으로 중첩 구간과 가장 가까운 최적 치수의 사이즈로 정의하였다. 따라서 그림 31과 같이 S-M 중첩 구간은 M으로, M-L 중첩 구간은 L로, L-XL 중첩 구간은 XL로 정의되었으며, 이를 반영한 최적 사이즈 시스템은 그림 32와 같다.



[그림 31] 중첩 구간의 사이즈 정의 (단위: mm)



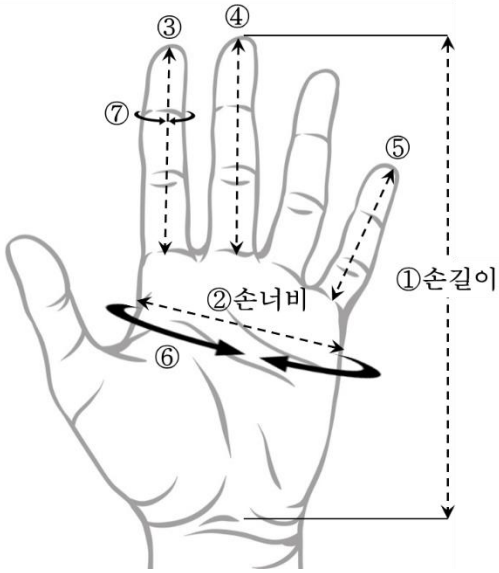
[그림 32] 전투용 장갑의 최적 사이즈 시스템 (단위: mm)

4. 전투용 장갑의 최적 사이즈 시스템

본 연구는 최종적으로 개발한 전투용 장갑의 사이즈 시스템을 표 38 과 같이 정리하였다. 기준 치수인 손길이와 손너비는 앞서 실험 결과 분석 및 사이즈 시스템 최적화를 통해 도출한 값을 적용하였으며, 경계 구간을 함께 제시하였다. 그 외 참고 치수인 검지손가락 길이, 새끼손가락 길이, 중지손가락 길이, 손둘레, 검지손가락 끝마디 둘레는 사이즈코리아 8 차 인체치수조사사업 데이터에서 각 사이즈 별 평균 값을 도출하여 적용하였다. 사이즈 시스템 상의 모든 수치는 사용 상의 편의를 고려하여 소수점 첫째자리에서 반올림하여 자연수만 표기하였다. 또한 각 치수의 측정 위치는 그림으로 표현하였다.

최종 사이즈 시스템의 참고 치수 중 검지손가락 길이, 새끼손가락 길이, 중지손가락 길이는 표 32 의 사이즈 적합 장갑과의 상관성에 따라 선정되었다. 그 외 손둘레와 검지손가락 끝마디 둘레는 실험 값을 통해 선정되지는 않았으나, 전투용 장갑 사이즈 선택 시 참고할 수 있는 치수 항목으로 제안하였다. 손둘레 항목은 여러 선행연구(Kwon et al., 2005; Kim, 2008; Kwon et al., 2009; Kwon et al., 2019; Jeon, 2021)에서 장갑 사이즈 시스템의 기준 치수로 선정한 것을 고려하여 참고 치수에 포함하였으며, 검지손가락 끝마디 둘레는 사격이나 로프의 매듭을 묶고 푸는 작업 시의 손 끝 기민성을 고려하여 참고 치수에 포함하였다.

[표 38] 전투용 장갑의 최적 사이즈 시스템

측정 위치								
사이즈 구분		S		M		L		XL	
기준 치수 (mm)	①손길이	168		177		184		191	
		166	176	175	185	182	191	189	199
	②손너비	81		83		86		89	
		79	88	81	91	84	93	87	96
참고 치수 (mm)	③검지손가락 길이	66		69		72		75	
	④중지손가락 길이	74		77		80		83	
	⑤새끼손가락 길이	52		55		57		59	
	⑥손둘레	201		205		209		215	
	⑦검지손가락 끝마디둘레	49		50		51		52	

제 4 절 전투용 장갑의 최적 사이즈 시스템 검증

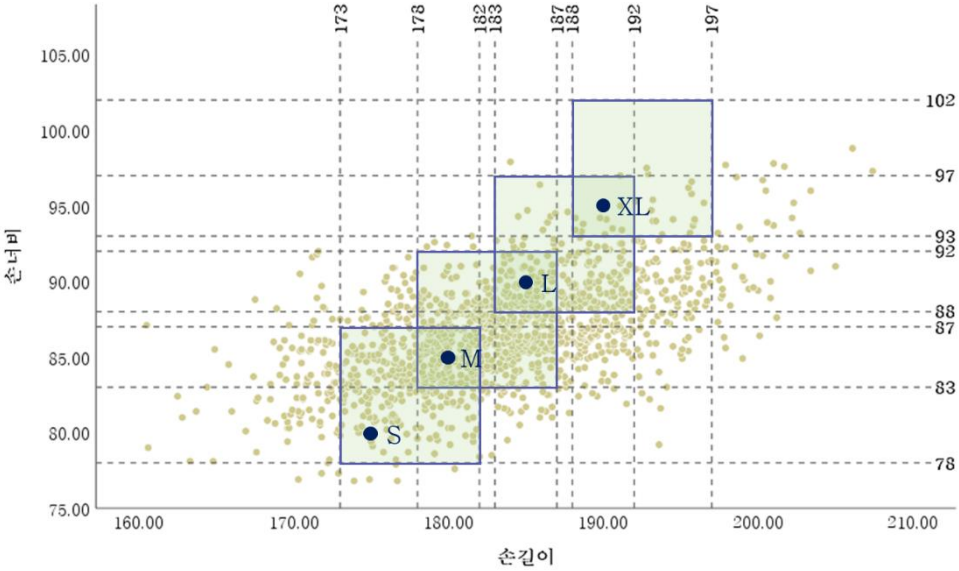
1. 전투용 장갑의 현행 사이즈 시스템

본 연구에서 제안한 전투용 장갑의 최적 사이즈 시스템을 현행 사이즈 시스템과 비교하여 검증하기 위해 먼저 현행 전투용 장갑의 사이즈 시스템을 분석하였다. 전투용 장갑의 현행 사이즈 시스템의 인체 기준 치수에 본 연구의 실험을 통해 도출한 장갑의 경계 구간인 −2.0 mm부터 +7.3 mm까지를 적용하여 표 39와 같이 경계 구간을 산출하였다.

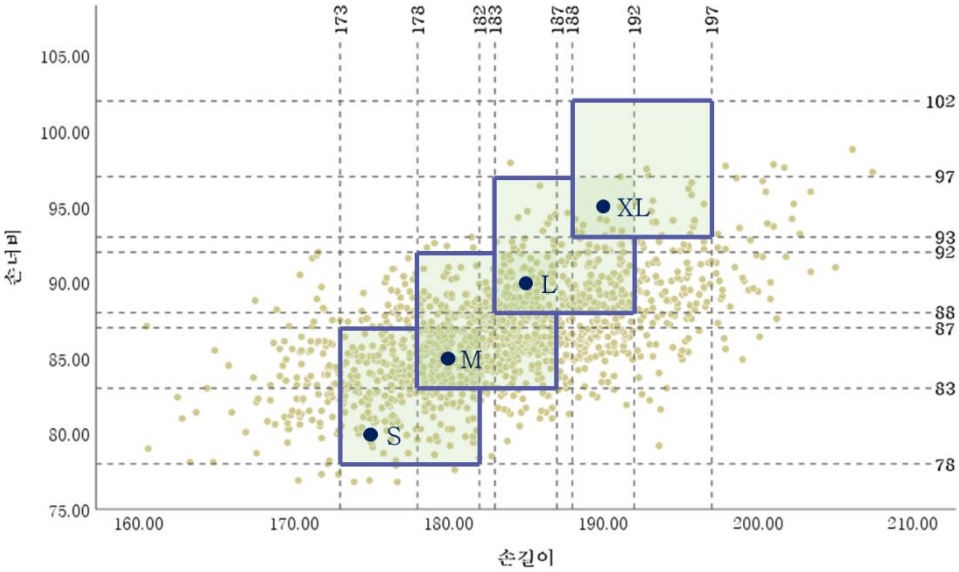
그림 33의 경계 구간은 본 연구에서 제안한 전투용 장갑의 사이즈 시스템과 마찬가지로 사이즈 중첩 구간이 발생하므로, 앞서 중첩 구간의 사이즈를 정의한 방식과 동일한 방식으로 조정하였다. 따라서 전투용 장갑의 현행 사이즈 시스템은 그림 34와 같다.

[표 39] 전투용 장갑 현행 사이즈 시스템의 제품 치수와 인체 치수 (단위: mm)

			S		M		L		XL	
제품 치수	장갑 길이		235 ± 3		240 ± 3		245 ± 3		250 ± 3	
	장갑 너비		100~104		105~109		110~114		115~119	
인체 치수	손길이	기준 치수	175		180		185		190	
		경계 구간	173	182	178	187	183	192	188	197
	손너비	기준 치수	80		85		90		95	
		경계 구간	78	87	83	92	88	97	93	102



[그림 33] 전투용 장갑의 현행 치수와 경계 구간 (단위: mm)



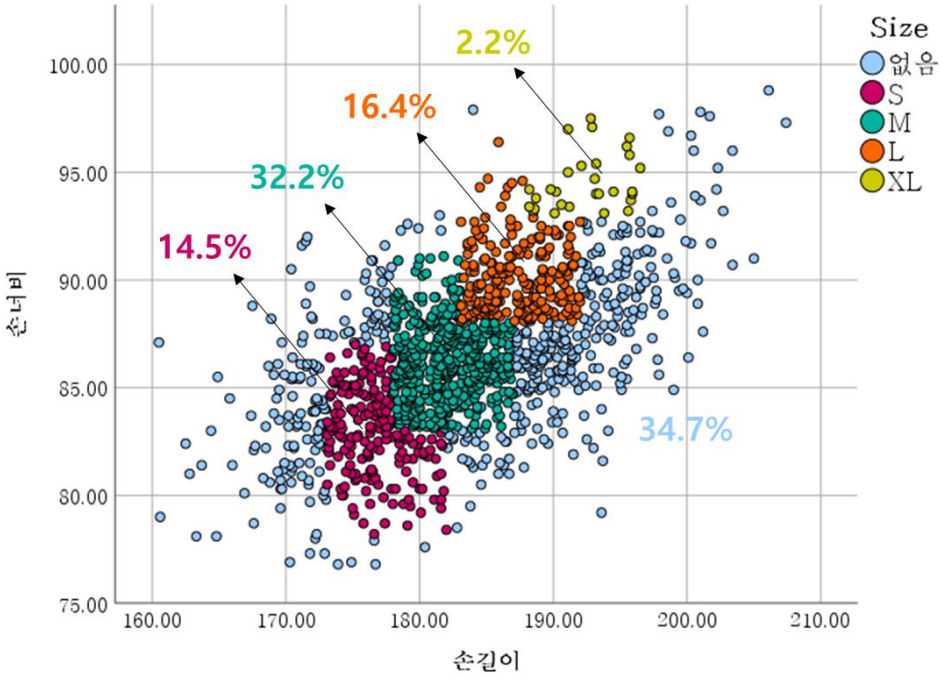
[그림 34] 전투용 장갑의 현행 사이즈 시스템 (단위: mm)

2. 현행 사이즈 시스템과 최적 사이즈 시스템의 커버율 비교

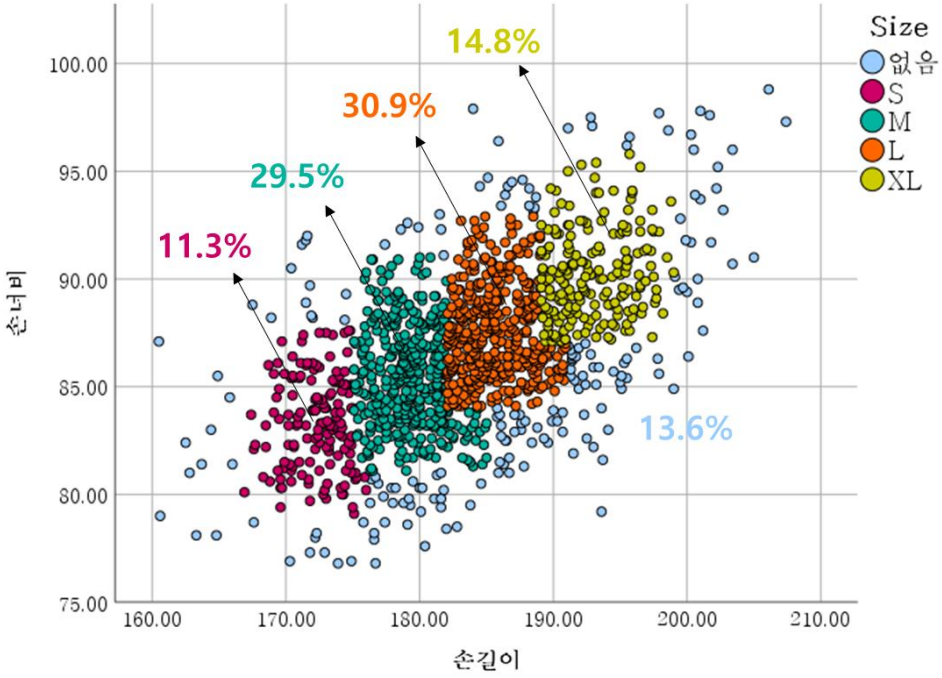
전투용 장갑의 현행 사이즈 시스템과 본 연구에서 제안한 최적 사이즈 시스템의 커버율을 표 40 과 같이 비교하였다. 전투용 장갑의 현행 사이즈 시스템은 사이즈코리아 8 차 인체치수조사사업 데이터의 20 대와 30 대 남성 1,341 명 중 876 명에게 적합한 장갑을 제공할 수 있는 것으로 분석되었으며, 이는 백분율로 산출 시 65.3%에 해당하는 수치이다. 반면 본 연구에서 제안한 전투용 장갑의 최적 사이즈 시스템은 1,341 명 중 1,158 명에게 적합한 장갑을 제공할 수 있는 것으로 분석되었으며, 이는 백분율로 산출 시 86.4%에 해당하는 수치로 현행 사이즈 시스템에 비해 약 21.1% 높은 커버율이다. 표 40 의 커버율은 그림 35 과 그림 36 에서 시각화하여 비교하였다.

[표 40] 전투용 장갑의 현행 사이즈 시스템과
본 연구에서 제안한 최적 사이즈 시스템의 커버율 (단위: 명)

	현행 사이즈 시스템	최적 사이즈 시스템	변화량
S	195 (14.5%)	151 (11.3%)	−44 (−3.2%)
M	432 (32.2%)	395 (29.5%)	−37 (−2.7%)
L	220 (16.4%)	414 (30.9%)	194 (14.5%)
XL	29 (2.2%)	198 (14.8%)	169 (12.6%)
전체 커버율	876 (65.3%)	1,158 (86.4%)	282 (21.1%)
적합 사이즈 없음	465 (34.7%)	183 (13.6%)	–
전체	1,341 (100.0%)	1,341 (100.0%)	–



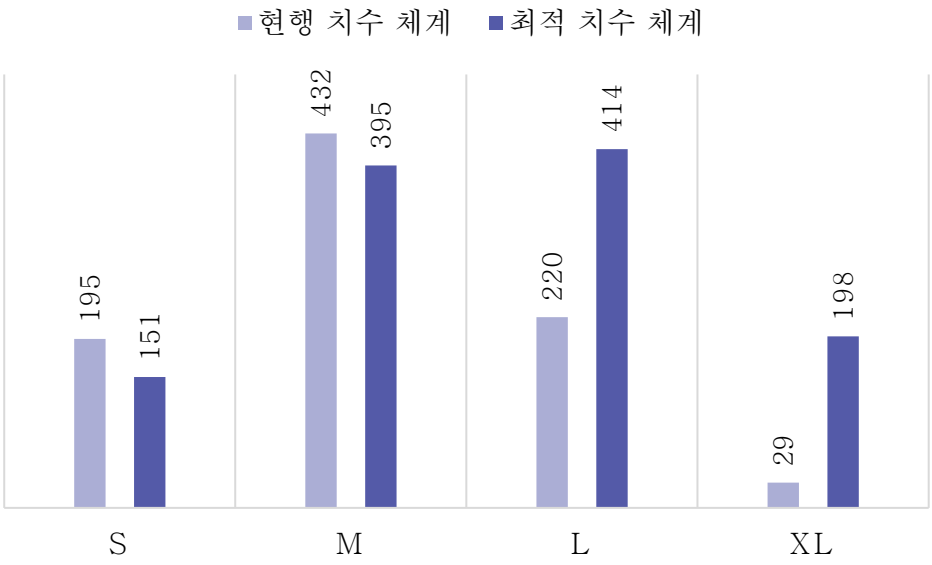
[그림 35] 현행 사이즈 시스템의 커버율 (단위: mm)



[그림 36] 최적 사이즈 시스템의 커버율 (단위: mm)

표 40 의 사이즈별 빈도를 그림 37 과 같이 나타내어 비교한 결과, 현행 사이즈 시스템의 S 사이즈(195 명, 14.5%)와 M 사이즈(432 명, 32.2%)는 최적 사이즈 시스템의 S 사이즈(151 명, 11.3%)와 M 사이즈(395 명, 29.5%) 비해 각각 3.2%, 2.7% 높은 빈도를 보였다. 그러나 현행 사이즈 시스템의 L 사이즈(220 명, 16.4%)와 XL 사이즈(29 명, 2.2%)는 최적 사이즈 시스템의 L 사이즈(414 명, 30.9%)와 XL 사이즈(198 명, 14.8%) 비해 각각 14.5%, 12.6%씩 두드러지게 낮은 빈도를 보였다.

전체적인 빈도 분포에 대하여 현행 사이즈 시스템은 작은 사이즈에 해당하는 S 사이즈와 M 사이즈에서 비교적 높은 빈도를 보인 것에 반해 큰 사이즈에 해당하는 L 사이즈와 XL 사이즈에서 빈도가 급격히 감소하는 불균형한 양상을 보였다. 반면 본 연구에서 제안한 최적 사이즈 시스템은 중간 사이즈에 해당하는 M 사이즈와 L 사이즈에서는 높은 빈도를, 양 극단 사이즈에 해당하는 S 사이즈와 XL 사이즈에서는 상대적으로 낮은 빈도를 보여 균형적인 분포를 보였다.



[그림 37] 현행 사이즈 시스템과 최적 사이즈 시스템의 사이즈별 빈도 (단위: 명)

따라서 본 연구에서 제안한 전투용 장갑의 최적 사이즈 시스템은 현행 사이즈 시스템과 동일한 사이즈 수를 유지하여 생산에 추가적인 비용을 발생시키거나 보급의 효율성을 저해하지 않으면서 커버율을 향상시켰으므로 현실적인 개선 방안이 될 것이다.

제 5 장 결 론

본 연구는 전투용 장갑의 맞음새와 생산 및 보급 효율성을 모두 고려한 최적 사이즈 시스템을 구축함으로써 장병들의 임무 수행 능력을 증진시키고 안전사고로부터 보호하고자 하였다. 이에 따라 본 연구에서는 심층 면접 조사와 설문 조사를 통한 전투용 장갑의 착용 실태 조사, 실험을 통한 전투용 장갑의 적정 맞음새 분석 및 손실계수비 도출, 최적화를 통한 전투용 장갑의 최적 사이즈 시스템 개발을 수행하였으며, 최종적으로 전투용 장갑의 현행 사이즈 시스템과 본 연구에서 제안한 최적 사이즈 시스템의 커버율을 비교하여 검증하였다.

전투용 장갑의 착용 실태 조사 결과에 따르면 다양한 전술 상황 중 사격, 레펠(로프 하강), 각개전투, 근접전 상황에서 전투용 장갑 착용이 권장된 것에 비해 실제로 착용된 비율이 10% 이상 낮은 것으로 분석되었다. 이는 손부위의 부상 방지와 방한을 위해서는 전투용 장갑의 착용이 필수적임에도 불구하고 현재 보급되고 있는 전투용 장갑의 맞음새가 적합하지 않아 손의 동작과 감각을 방해하기 때문인 것으로 파악되었다. 따라서 본 연구에서는 사격, 레펠 (로프 하강), 각개전투, 근접전 등의 전술 상황에서 요구되는 손 동작(사격 자세, 로프 자세)과 손 기능(기민성, 악력)을 실험 항목으로 구성하여 전투용 장갑의 적정 맞음새를 분석하고 손실계수비를 도출하였다.

본 연구의 실험에서는 정적 자세, 동적 자세(사격 자세, 로프 자세)에서의 사이즈 적합 장갑과 주관적 허용 장갑 구간을 도출하였고, 기민성 측정과 악력 측정을 통해 객관적 허용 장갑 구간을 도출하였다.

전투용 장갑의 적정 맞음새는 정적 자세와 사격 자세 간 사이즈 적합 장갑과 허용 장갑 구간 변화와 정적 자세와 로프 자세 간 사이즈 적합 장갑과 허용 장갑 구간 변화를 통해 분석되었다. 그 결과, 정적 자세와 사격 자세 간 사이즈 적합 장갑과 최대 허용 장갑은 통계적으로 유의한 감소를 보였으며, 이는 장갑 끝 여유분으로 인한 화기의 조정간

조작 및 방아쇠 작동의 어려움과 화기 작동 오류로 인한 안전사고에 대한 불안함 때문인 것으로 파악되었다. 또한, 정적 자세와 로프 자세 간 사이즈 적합 장갑, 최소 허용 장갑, 최대 허용 장갑은 모두 통계적으로 유의한 감소를 보였으며, 이는 부적절한 장갑의 맞음새가 로프를 쥐는 동작을 방해하여 손에 부가적인 힘이 필요하고 체력 소모가 크기 때문인 것으로 파악되었다. 따라서 전투용 장갑은 착용자가 선택한 사이즈에 비해 큰 사이즈보다는 오히려 작은 사이즈가 선호됨을 알 수 있었다.

전투용 장갑의 손실계수비는 정적 자세, 사격 자세, 로프 자세, 기민성, 악력 조건을 모두 만족하도록 허용 장갑 구간의 교집합을 통해 도출되었다. 이에 따른 최종 허용 장갑 구간은 착용자가 선택한 사이즈 적합 장갑 0호를 기준으로 −3.65호(−7.3 mm), +1호(2.0 mm)로 도출되었으며, 각각은 전투용 장갑의 착용 허용차 α와 β를 의미하므로, 손실계수비는 아래의 식에 따라 0.075로 산출되었다.

$$C_2/C_1 = (\beta/\alpha)^2 = \left(\frac{2.0mm}{7.3mm}\right)^2 \approx 0.075$$

이러한 결과는 착용자가 자신의 사이즈보다 작은 사이즈를 선택하는 것이 큰 사이즈를 선택하는 것보다 손실이 크다고 가정하여 손실계수비를 1보다 큰 상수로 설정하거나, 두 선택의 손실이 같다고 가정하여 손실계수비를 1로 설정하여 적용한 기존의 선행연구와 매우 상반된다. 이는 전투용 장갑 착용자들이 큰 사이즈의 장갑을 착용함으로써 얻을 수 있는 편안함 대신 작은 장갑을 착용함으로써 얻을 수 있는 작업 용이성 및 안전성을 훨씬 더 중요하게 생각하여 큰 사이즈의 장갑보다 작은 사이즈의 장갑에 대한 허용도가 높기 때문인 것으로 사료된다.

전투용 장갑의 사이즈 시스템 최적화는 사이즈코리아 8차 인체치수조사사업에서 수집한 성인 남성 1,341명의 손길이와 손너비

계측치와 실험을 통해 산출된 손실계수비를 적용하여 수행하였으며, 사이즈 수가 1 ~ 7개인 경우에 대하여 각각 수행하여 결과를 비교하였다. 그 결과, 4개의 사이즈 수가 채택되었으며, 그에 따라 최적 사이즈 시스템(S-손길이: 168mm, 손너비: 81 mm, M-손길이: 177 mm, 손너비: 83 mm, L-손길이: 184 mm, 손너비: 86 mm, XL-손길이: 191 mm, 손너비: 89 mm)가 도출되었다. 또한, 8차 인체치수조사사업 데이터에서 각 사이즈 별 참고 치수 항목의 평균 값을 도출하여 제시하였다.

전투용 장갑의 최적 사이즈 시스템은 커버율 측면에서 현행 사이즈 시스템과 비교하여 검증하였다. 그 결과, 현행 사이즈 시스템의 커버율은 65.3%인 것에 비해 본 연구에서 제안한 최적 사이즈 시스템의 커버율은 86.4%로 약 21.1%의 향상을 보였다. 또한 현행 사이즈 시스템은 작은 사이즈(S와 M)에서 비교적 높은 빈도를 보이고 큰 사이즈(L과 XL)에서 빈도가 급격히 감소하는 불균형한 양상을 보인 반면, 본 연구에서 제안한 최적 사이즈 시스템은 중간 사이즈에 해당하는 M 사이즈와 L사이즈에서는 높은 빈도를, 양 극단 사이즈에 해당하는 S 사이즈와 XL 사이즈에서는 상대적으로 낮은 빈도를 보여 균형적인 분포를 보였다.

본 연구에서 수행한 전투용 장갑의 최적 사이즈 시스템 개발의 학문적 의의는 현행 사이즈 시스템이가 사이즈를 5 mm의 단위로 균일하게 등분한 것에 반해, 본 연구에서는 사이즈 시스템 최적화를 통해 불균일한 치수 간격을 설정하여 착용자 맞음새 측면의 손실을 줄였다는 것에 있다. 또한 손실함수 최적화 과정에 투입되는 손실계수비에 대하여 선행연구에서는 연구자의 직관 또는 근사값에 의존했던 것에 반해, 본 연구에서는 실험을 통해 손실계수비의 실증값을 도출하는 방법을 고안하였다는 점에 의의가 있다. 더 나아가 선행연구에서 설정한 손실계수비는 1 이상의 상수였던 것에 반해, 본 연구에서 도출한 전투용 장갑의 손실계수비는 1 미만의 상수로, 의류 제품의 경우 작은 사이즈를 선택하는 것이 큰 사이즈를 선택하는 것보다 손실이 크다는 기존의 통념과 달리 전투용 장갑과 같은 특수 장갑의

경우 작업 효율과 안전을 고려하여 작은 사이즈가 더 선호될 수 있음을 새롭게 밝혔다는 점에서 의의가 있다.

본 연구에서 제안한 전투용 장갑의 최적 사이즈 시스템의 실용적 의의는 사격 자세와 로프 자세, 기민성과 악력 등 전술 상황에서 실제로 요구되는 손 동작과 손 기능을 고려한 맞음새를 반영하여 전술 활동 시 실질적인 도움이 되고자 함에 있다. 또한 현행 사이즈 시스템은 전투용 장갑의 제품 치수를 제시한 것과 달리 본 연구에서 제안한 최적 사이즈 시스템은 인체 치수를 제시함으로써 장병들이 장갑을 선택할 때 효과적인 참고자료가 될 수 있도록 한 점에서 의의가 있다. 최종적으로 본 연구에서 제안한 전투용 장갑의 최적 사이즈 시스템은 현행 사이즈 시스템과 동일한 사이즈 수를 유지하여 생산에 추가적인 비용을 발생시키거나 보급의 효율성을 저해하지 않으면서 커버율을 21.1% 향상시켰으므로 현실적인 개선 방안이 될 수 있을 것이다.

한편 본 연구에서 제안한 전투용 장갑의 최적 사이즈 시스템은 커버율 측면에서 현행 사이즈 시스템보다 효과적임을 입증하였으나, 착용성 평가를 통한 실증적 검증이 추가적으로 이루어져야 할 것으로 사료된다. 따라서 본 연구의 후속 연구로서 최적 사이즈 시스템에 따른 전투용 장갑을 실물로 제작하여 현용 전투용 장갑과의 착용성 비교 평가를 수행하고자 한다. 또한 전투용 장갑의 착용성은 사이즈 시스템의 측면뿐 아니라, 패턴과 디자인의 측면에서도 검토되어야 할 것이므로, 후속 연구를 통해 다각도의 개선을 이루고자 한다.

참고 문헌

[논문 및 서적]

Baraldi, P., Cadini, F., Mangili, F., & Zio, E. (2013). Model-based and data-driven prognostics under different available information. *Probabilistic Engineering Mechanics, 32*, 66-79.

Baumol, W. J., & Ide, E. A. (1956). Variety in retailing. *Management Science, 3*(1), 93-101.

Chun, J. S., Park, K. H., & Park, Y. T. (1996). A study on determining optimal sizes for mail order clothing. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, *15*, 113.

Choi, H. S., & Kim, E. K. (2005). A Study on Actual Conditions and Sizing Systems of Domestic Glove Production Companies. *Journal of the Korean Society of Costume*, *55*(2), 116-128.

Choi, K. M., Park, S. M., Kim, W., & Ryu, Y. S. (2009). A study on the optimal sizing system for obese children-Focusing on 4 ~ 6 grade elementary school boys. *Fashion & Textile Research Journal*, *11*(6), 918-924.

Ding, S. X. (2008). *Model-based fault diagnosis techniques: design schemes, algorithms, and tools*. Springer Science & Business Media.

Do, J. (2020). Proposal for Physical Fitness Enhancement Methods Based on Survey of Musculoskeletal Injuries and Treatment Experience in Active Duty Soldiers. *Korean Society of Sports Physical Therapy*, *16*(2), 73-80.

Isermann, R. (2005). Model-based fault-detection and diagnosis-status and applications. *Annual Reviews in control, 29*(1), 71-

85.

Jang, J. A., & Kim, J. (2006). A Study on the Establishment of Clothing Sizing System for the Late Elementary Schoolgirls. *Journal of the Korean Society of Fashion and Beauty*, *4*(2), 22-30.

Jeon, E. (2021). An Analysis of Hand Measurements for Designing Size Specification for Children's Gloves. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, *45*(6), 923-934.

Kang, J. M. (1989). A Study on the Determination of Standard Production Dimensions (Unpublished Master's Thesis). *Sungkyunkwan University*.

Kim, E. K. (2008). Development of the standard size dimensions and reference sizes for improving size suitability of gloves. *Fashion & Textile Research Journal*, *10*(6), 966-978.

Kim, S. W. (2018). Optimization of the Size of Girls' Teenager Using the Loss Function (Unpublished Master's Thesis). *Seoul National University*.

Kwon, C. R., Jang, M., Jeong, D. W., & Kim, D. E. (2019). Hand sizing study for development of firefighting gloves. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, *43*(3), 416-426.

Kwon, M., Choi, I., Chung, G., & Yang, M. (2005). A study on establishment of glove size system and hand shape. *Journal of the Korean society of costume*, *55*(6), 24-37.

Kwon, O., Jung, K., You, H., & Kim, H. E. (2009). Determination of key dimensions for a glove sizing system by analyzing the relationships between hand dimensions. *Applied ergonomics, 40*(4), 762-766.

Lee, J. H. (1998). A Study on the Cover Ratio and the Sizing System of Apparels for Obese Women. *Journal of the Korean Society of*

Clothing and Textiles, 22(6), 737-748.

Lee, K. H., & Choi, H. S. (1996). A study on establishment of brassiere sizing system for elderly woman applying loss function. *Journal of the Ergonomics Society of Korea, 15*(2), 1-13.

Muralidhar, A. A., Bishu, R. R., & Hallbeck, M. S. (1999). The development and evaluation of an ergonomic glove. *Applied ergonomics, 30*(6), 555-563.

Park, Y. T., & Kim, S. D. (1992). On the Determination of Optimal Sizes. *Journal of the Human Engineering Society of Korea, 11*(1), 39-47.

Ryu, K. O., & Suh, M. (2003). A Study on the Measurement of Male Korean Hand-Focusing on Glove Size-. *The International Journal of Costume Culture, 6*(2), 126-133.

Ryu, K. O., & Suh, M. (2004). A Study on the Measurement of Korean Women′ s Hand -Focusing on Glove Size-. *The Research Journal of the Costume Culture, 12*(2), 262-278.

Suh, M. A., & Ryu, K. O. (2004). A comparative study on the measurement of Korean adult hand for glove pattern-making. *The Research Journal of the Costume Culture*, *12*(6), 897-907.

Taguchi, G. (1986). *Introduction to quality engineering: designing quality into products and processes*.

Tidriri, K., Chatti, N., Verron, S., & Tiplica, T. (2016). Bridging data-driven and model-based approaches for process fault diagnosis and health monitoring: A review of researches and future challenges. *Annual Reviews in Control, 42*, 63-81.

Tryfos, P. (1985). On the optimal choice of sizes. *Operations Research, 33*(3), 678-684.

[표준 규격]

ISO 10282:2014

ISO 11193-1:2020

ISO 13999-1:1999

ISO 21420:2020

KS A 4036: 1997

KS A 4052: 2006

KS G 3110: 2012

KS K ISO 13999-1:1999

KS M ISO 10282: 2014

KS M ISO 11193-1:2008

KS M 6633: 2014

KS M 6643: 2017

[보고서]

Korean Agency for Technology and Standard. (2021). *The 8th size Korea: Final Report of Korean 3-dimensional Figure Measurement Survey.* https://sizekorea.kr/human-info/meas-report?measDegree=8

Ministry of National Defense. (2016, May 3). PRD 8400 Combat Gloves. Seoul: Author

Abstract

Development of Optimal Sizing System for Tactical Gloves Applying Empirical Loss Coefficient Ratio

Yujin Hong

Department of Textiles,

Merchandising and Fashion Design

The Graduate School

Seoul National University

Tactical gloves should provide a good fit when wearing to increase the wearer's ability to perform tasks and reduce the risk of safety accidents. In terms of production and supply, it is necessary to have a sizing system with an appropriate number of sizes to prevent additional production costs and supply confusion. This study developed the optimal sizing system for tactical gloves by applying the concept of the loss function proposed by Park & Kim (1992) to achieve the best fit for tactical gloves for a limited number of sizes via 1) investigation on the wearing condition of tactical gloves through in-depth interviews and surveys, 2) analysis of the glove fit and loss coefficient ratio through an experiment, 3) optimization of the sizing system, and 4) verification of the optimal sizing system by comparing the coverage rate to the current sizing system.

Based on the survey results, hand movements (shooting posture, rope posture) and hand function (dexterity, grip force) required in the noted tactical situation were selected as experiment conditions

for analyzing the optimal fit and computing the loss coefficient ratio. Using the optimal fit analysis, it was found that the suitable glove (SG) and maximum allowable glove (AG_{Max}) for the shooting posture were significantly reduced compared to the static posture. This finding was explained by the difficulty of controlling the selector lever and the trigger of the firearm due to the surplus glove tip, and anxiety about possible safety accidents caused by firearm operation errors. Further, compared to the static posture, SG, AG_{min}, and AG_{Max} were all significantly reduced and explained by the need for additional force in the hand and high physical strength needed due to the interference coming from inappropriate gloves. Therefore, tactical gloves are preferred in a smaller size rather than a larger size. The loss coefficient ratio was derived via the intersection of all the AG sections to satisfy all static posture, shooting posture, rope posture, dexterity, and grip strength conditions. The final AG section was calculated to be from 7.3 mm in smaller gloves to 2.0 mm in larger gloves based on SG, and the loss coefficient ratio was thereby computed to be 0.075.

An optimization of the sizing system for tactical gloves was performed by applying the loss coefficient ratio derived through experiments to the measurement of the hand length and width of 1,341 adult men collected from the 8th Size Korea. By comparing each optimization result from one to seven sizes, four size conditions were finally adopted, and an optimal sizing system was derived (S–hand length: 168, hand width: 81, M–hand length: 177, hand width: 83, L–hand length: 184, hand width: 86, XL–hand length: 191, hand width: 89).

The optimal sizing system for tactical gloves that was proposed in this study was verified by comparing it to the current sizing system

in terms of coverage rate. The coverage rate of the current sizing system was 65.3%, while the coverage rate of the optimal sizing system proposed in this study was 86.4%, indicated an improvement of about 21.1%. Thus, optimal sizing system proposed in this study maintains the same number of sizes as the current sizing system, thereby improving the coverage rate without incurring additional production costs or hindering the efficiency of the supply.

The development of the optimal sizing system for tactical gloves proposed in this study minimizes the loss of the wearer' s fit by setting uneven size intervals through optimization. An experimental method was also devised to derive the empirical value of the loss coefficient ratio. The loss coefficient ratio of the tactical gloves derived in this study was less than 1, which is significant in that it newly reveals that functional gloves, such as tactical gloves, may be preferred in smaller sizes when considering both work efficiency and safety.

Keywords : Tactical gloves, Sizing system, Glove fit, Loss function, Optimization

Student Number : 2020-29237