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

생활과학 석사 학위논문

드럼세탁기 내 리프터 형상에 따른 세탁물거동과 세척성

2017년 2월

서울대학교 대학원

의류학과

최 한 라

드럼세탁기 내 리프터 형상에 따른 세탁물거동과 세척성

지도교수 박 정 희

이 논문을 생화과학 석사 학위논문으로 제출함
2017년 2월

서울대학교 대학원
의류학과
최 한 라

최한라의 석사 학위논문을 인준함
2017년 2월

위 원 장 _____ (인)

부위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

국문초록

본 논문에서는 세탁의 이화학적인 작용과 기계적인 작용 중에서 기계적인 작용에 영향을 주는 세탁물의 거동에 관한 연구를 진행하였다. 드럼세탁기 내의 리프터는 세탁물을 받쳐 올렸다 떨어지면서 낙차의 효과를 내어 세탁물의 거동과 세척성에 영향을 준다. 따라서 본 연구에서는 리프터가 장착되어 있는지, 장착되어 있지 않는지에 따른 세탁물의 거동과 세척성을 살펴보고, 리프터의 형상 요인을 변화시키고 그에 따른 세탁물의 거동과 세척성을 살펴보았다.

리프터의 장착 여부에 따른 세탁물의 거동과 세척성은 다음과 같았다. 기존에 세탁기에 장착되어 있는 기존의 리프터를 장착한 경우에는 세탁수량이 증가하여도 세탁물의 거동이 유사하게 나타났고 세척성은 증가하였다. 반면 리프터를 장착하지 않은 경우에는 세탁수량이 증가함에 따라 세탁물의 움직임이 제한되었고 세척성은 감소하였다. 따라서 리프터는 세탁물의 움직임을 유발하고, 세탁수량에 상관없이 세척성이 일정 수준 이상으로 나타나게 하는 역할을 함을 알 수 있었다.

리프터의 형상 요인은 앞쪽 폭(W_f), 뒤쪽 폭(W_b), 중간 폭(W_m), 하부 폭 대비 상부 폭의 비율(c), 앞쪽 높이(H_f), 뒤쪽 높이(H_b), 길이(L)의 7가지로 분류하였다. 7가지 리프터의 형상 요인(W_f, W_b, W_m, c, H_f, H_b, L) 변화에 따른 세척성은 다음과 같았다. 기존의 리프터에 대비하여 50%와 200%로 변형시킨 리프터(이하 1차 리프터) 8개의 세척성을 살펴보고 회귀분석을 한 결과, 리프터 형상 요인 중에서 W_m, L, c의 순서로 세척성의 총합에 영향을 주었다. 본 연구의 조건 내에서 세 가지 요인이

모두 커질수록 세척성이 향상된다는 사실을 알 수 있었다. 다음 단계로 리프터 형상 요인 7가지 중 세탁기의 설계와 민감도 분석 순위를 고려하여 선정한 4가지 주요 요인인 중간 폭(W_m), 하부 폭 대비 상부 폭의 비율(c), 뒤쪽 높이(H_b), 앞쪽 높이(H_f)를 3수준으로 변형시킨 리프터(이하 2차 리프터) 18개의 세탁물거동과 세척성을 분석한 결과, H_b와 c가 세탁물거동과 세척성에 영향을 줌을 알 수 있었다. 회귀분석 결과, H_b와 c가 작을수록, H_f가 클수록 세척성이 향상된다는 것을 알 수 있었다. 리프터의 형상요인이 세탁물거동과 세척성 각각에는 영향을 주었지만 세탁물거동과 세척성 사이에는 유의한 관계가 도출되지 않았다. 본 연구의 결과에 부합하는 가장 이상적인 형상의 리프터는 L7이었고, 기존의 리프터 대비 세척성이 8.6% 향상되었다.

이상의 결과를 통하여, 리프터가 있음으로 인하여 세탁물거동이 유발되고, 일정 수준 이상의 세척성을 가질 수 있음을 확인하였다. 또한 리프터의 형상 요인을 극대화하여 변형시킨 경우에는 W_m, L, c와 같은 형상 요인이 커질수록 세척성이 향상되지만, 세탁기의 상용화를 고려하여 기존의 리프터에서 형상 요인을 변형시킨 경우에는 H_b와 c가 작을수록, H_f가 클수록 세척성이 향상된다는 것을 알 수 있었다.

주요어 : 리프터, 리프터 형상 요인, 세탁물거동, 세척성, 드럼세탁기
학 번 : 2014-22899

목 차

Ⅰ. 서론 ····· 01
1. 연구의 필요성 및 목적 ····· 01
2. 이론적 배경 ····· 05

Ⅱ. 실험 ····· 08
1. 시료 ····· 08
2. 세탁기 및 리프터 ····· 10
2.1. 세탁기 ····· 10
2.2. 리프터 ····· 12
3. 세탁물거동 분석 ····· 15
3.1. 세탁조건 ····· 15
3.2. 세탁물거동 촬영 ····· 18
3.3. 동영상 분석 ····· 19
4. 세척성 평가 ····· 23
4.1. 세탁조건 ····· 23
4.2. 세척성 측정 ····· 30
5. 통계 분석 및 민감도 분석 ····· 31

Ⅲ. 결과 및 고찰 ····· 33
1. 리프터 장착 여부에 따른 세탁물거동과 세척성 ····· 33
1.1. 리프터 미장착 시 세탁수량별 세탁물거동 ····· 33

1.2. 리프터 장착 시 세탁수량별 세탁물거동 ····· 36
1.3. 리프터 미장착 시 세탁수량별 세척성 ····· 39
1.4. 리프터 장착 시 세탁수량별 세척성 ····· 41
2. 7가지 리프터 형상요인 변화에 따른 세척성 ····· 43
2.1. 리프터 형상에 따른 세척성 ····· 43
2.2. 7가지 리프터 형상요인과 세척성의 관계 ····· 45
3. 4가지 리프터 형상요인 변화에 따른 세탁물거동과 세척성 ····· 48
3.1. 리프터 형상에 따른 세탁물거동과 세척성 ····· 48
3.2. 4가지 리프터 형상요인과 세탁물거동, 세척성의 관계 ··· 54

Ⅳ. 요약 및 결론 ····· 58

참고문헌 ····· 61

Abstract ····· 64

List of tables

Table 1. Specification of the cotton base pillow case ····· 09
Table 2. Specification of lifter shape(L_{ref}, $_{p}L1$-$_{p}L8$) ····· 13
Table 3. Specification of lifter shape(L_{ref}, L1-L18) ····· 14
Table 4. Amount of water used at each experiment condition of fabric movement analysis ····· 15
Table 5. Operating condition of front-loading washer for analyzing fabric movement ····· 17
Table 6. Fabric movement index ····· 21
Table 7. Soiling composition of artificial soiled fabrics ····· 23
Table 8. Ingredients of AHAM HLW-1 Formula 3 ····· 27
Table 9. Amount of water and detergent used at each experiment condition of detergency evaluation ····· 28
Table 10. Fabric movement indexes of experiments without lifter according to the amount of water ····· 34
Table 11. Fabric movement indexes of experiments with lifter according to the amount of water ····· 37
Table 12. Correlation between seven factors of lifter shape and detergency(%) ····· 46
Table 13. Fabric movement index of lifters(L1-L9) ····· 49
Table 14. Fabric movement index of lifters(L10-L18) ····· 50
Table 15. Correlation between each fabric movement index and four factors of lifter shape ····· 55

Table 15. Correlation between four factors of lifter shape and detergency(%) ····· 56

List of figures

Figure 1. Photos of front-loading washers for analysis of fabric movement(left) and evaluation of detergency(right). ····· 10
Figure 2. Seven factors of lifter shape. ····· 12
Figure 3. Loading example of pillow cases according to AHAM HLW-1-2013. ····· 16
Figure 4. Tracing and digitizing of fabric movement in a front-loading washer. ····· 19
Figure 5. Attached artificial soiled strip on pillow case. ····· 24
Figure 6. Example of sensitivity test by PIAnO. ····· 32
Figure 7. Visualized movement pattern of tracer fabric without lifter according to the amount of water. ····· 35
Figure 8. Visualized movement pattern of tracer fabric with reference lifter according to the amount of water. ····· 38
Figure 9. Detergency without lifter (L_{no}) according to the amount of water. ····· 40
Figure 10. Detergency with reference lifter (L_{ref}) according to the amount of water. ····· 42
Figure 11. Total detergency of primary lifters($_pL1$-$_pL8$). ····· 44
Figure 12. Detergency of each soil of primary lifters($_pL1$-$_pL8$). ····· 44
Figure 13. Visualized movement pattern of tracer fabric and

center of fabric at best(L7) and worst(L13) detergency. ····· 51
Figure 14. Detergency(%) of lifters(L1-L18). ····· 52
Figure 15. Detergency(%) of each soil of lifters(L1-L18). ··· 53

Ⅰ. 서론

1. 연구의 필요성 및 목적

의류제품은 사용과정에서 원하지 않는 물질(오구)이 부착되어 옷의 외관을 상하게 하므로 지속적인 세탁을 통해서 위생적 성능과 미적 성능을 회복시켜야한다.

세탁은 섬유에 부착되어 있는 오구를 제거하는 복합적인 과정으로 이화학적인 작용과 기계적인 작용의 상호작용을 통해 이루어진다[1]. 세탁의 가장 기본적인 원리는 물질의 이동으로[2,4], 오구가 섬유에서 떨어져 나오는 과정, 세액으로 떨어져 나온 오구가 다시 섬유에 들러붙지 않고 세액 중에 안정한 상태로 분산 또는 용해되는 과정의 두 단계로 이루어진다[3]. 섬유에 붙어있는 오구가 세액 중에서 물과 세제의 계면화학적인 작용으로 세척일이 0이 되어 오구가 저절로 제거되는 경우도 있으나, 대부분의 오구는 세제에 의해 제거되기 쉬운 상태가 되더라도 섬유로부터 완전히 분리되기 위해서, 또 섬유로부터 분리된 오구를 신선한 세액과 교환하는 물질이동을 촉진하기 위해서 외부로부터의 에너지 공급을 필요로 한다[2]. 이러한 에너지는 열과 기계적인 힘의 형태로 공급되는데, 그 역할을 하는 것이 세탁기이다. 따라서 세척성은 직물의 특성, 오구의 종류, 세탁용수의 질, 세탁 기술(기계적인 작용의 종류와 양, 시간 온도), 세제의 조성 등의 요인에 민감하다[1]. 이처럼 세척성은 이화학적인 작용뿐만 아니라 기계적인 작용에도 영향을 받는데, 대부분의 선행연구가 세제의 조성[5-7], 오구의 종류[8-9], 물의 특성[10-11] 등 이화학적인 작용에 집중되어 있고, 기계적인 작용에 대한 연구는 상대적으로 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 세탁의 기계적인 작용에 초점을 맞추어

연구를 진행하고자 하였다.

세탁의 기계적인 작용을 살펴본 선행연구는 다음과 같다.

Lee 등[12]은 세탁물에 기계적 변형 및 마찰, 유동의 변화를 줄 수 있도록 설계된 장치를 통하여 유동, 마찰, 굽힘, 전단의 기계적인 거동이 세척성에 어떠한 영향을 주는지를 살펴보았다. 마찰이 세척성에 가장 중요한 역할을 하며, 굽힘과 전단은 미세한 차원에서 오구를 제거하고, 유동의 효과는 미미하다는 것을 밝혔다.

이아진[13]은 드럼세탁기에 직물의 개수, 크기를 변화하며 표지직물의 이미지를 시각화하여 직물의 거동을 분석하였다. 직물의 거동을 굽힘, 전단, 신장의 거동과 구름, 마찰, 낙하의 거동으로 구분하였고 앞의 거동은 뒤의 거동에서도 나타난다고 하였다. 이는 직물의 개수가 늘어남에 따라 직물 간의 상호작용이 늘어나기 때문이라고 밝혔다.

Namara 등[14]은 방사선을 띠는 tracer particle을 직물의 중심에 부착하고 방사선 물질을 추적하는 기계를 통하여 드럼세탁기 내 직물거동을 분석하였다. 세탁부하량이 늘어나면 기계력이 떨어진다는 것을 밝히고, tracer particle의 움직임이 규칙적이고 확고하며 변동이 적음을 밝혔다.

Woo[15]의 연구에서는 드럼세탁기에서 기계적 작용과 이화학적 작용의 영향력을 살펴보았다. 오구의 종류에 따라 기계적 작용에 더 영향을 받을 수도 이화학적 작용에 더 영향을 받을 수도 있는데, 지용성 오구는 기계적 작용의 영향이 더 크고, 단백질 오구의 경우엔 지용성 오구보다 기계적, 이화학적 작용의 영향이 더 크다는 것을 밝혔다.

Yun과 Park[16]은 세탁 촬영 동영상의 이미지 분석을 통하여 직물의 거동을 sliding, falling, rotating으로 나누고 이 거동의 패턴을 A, B, C 세 종류로 분류하고 직물거동의 패턴이 B가 되는 경우에 세척성이 가장 좋다는 것을 밝혔다. 직물의 크기, 개수가 증가함에 따라 직물거동 패턴

은 A에서 B, C로 변화함을 밝혔다. 그들은 후속연구[17]에서 직물의 거동지수를 개발하고, 이 거동지수와 세척성의 회귀식을 도출하였다. 또한 세탁 프로그램의 rpm을 변화시키며 세척성을 최적화할 수 있는 알고리듬을 제안하였다.

Cho 등[18]은 마찬가지로 세탁 촬영 동영상의 이미지 분석을 통하여 직물거동을 분석하였는데, 앞선 연구와 다르게 세탁부하량을 실제 세탁부하량에 맞추어 전체 세탁물의 집합적인 거동과 표지 직물의 개별적인 거동을 살펴보았다. 개별적인 거동이 집합적인 거동보다 세척성에 더 큰 영향을 미친다는 것을 밝혀내었다.

드럼세탁기는 세탁물을 넣는 내부 드럼통을 세액이 들어있는 외부 드럼통 안에서 회전시킨다. 내부 드럼통에는 세 개의 리프터(lifter)가 있어 드럼통의 회전에 따라 세액의 교반과 함께 세탁물이 받쳐 올렸다 떨어지면서 아래 세탁물과 부딪치는 기계력이 빨래를 두드리고 비비는 효과는 내어 세탁이 진행된다[3]. 따라서 드럼세탁기에 있어서 리프터는 직물의 거동과 낙차를 통한 세척성에 영향을 주는 요인이라 할 수 있다. 하지만 드럼세탁기에 있어서 리프터가 장착되어 있는지 없는지에 따른 직물거동과 세척성의 객관적인 분석은 여태까지 이루어지지 않았다. 또한 리프터의 형상이 변화함에 따른 세탁물거동과 세척성에 대한 연구도 이루어지지 않았다.

이에 본 연구에서는 드럼세탁기에서 리프터의 역할이 세탁물의 거동에 어떠한 영향을 미치는지 알아보고, 이로 인해 세척성에 미치는 영향을 규명하고자 한다. 그 첫 번째 단계로 리프터의 장착 여부에 따른 세탁물거동과 세척성을 분석함으로써 리프터의 역할을 규명한다. 두 번째 단계로 리프터의 형상을 7가지 형상 요인을 통하여 변화시키고, 그 변화

에 따른 세척성을 분석함으로 세척성에 주요한 영향을 주는 형상 요인을 선별하고자 한다. 마지막 단계로는 선별된 주요 인자만을 상용화 가능한 범위에서 변화시켜, 그에 따른 세탁물거동과 세척성을 관찰하고 세척성 향상을 위해서 리프터의 형상 요인을 어떻게 변화시키는 것이 좋은지를 밝혀내고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1. 세탁 메커니즘

세탁의 오구제거 메커니즘은 세제의 계면활성제 성분으로 인한 롤링업, 액정의 형성, 유화, 현탁, 가용화, 세제에 첨가된 효소의 작용 등을 통해 이루어진다. 물은 표면장력이 커서 오구와 섬유 사이로 침투가 용이하지 않는 단점이 있지만, 세제를 사용하는 경우에는 세제의 주성분인 계면활성제의 작용으로 표면장력이 감소하여 오구와 섬유 사이로 침투가 용이하게 된다[4]. 세액이 오구와 섬유 사이로 침투하면서 직물과 오구 사이의 결합력이 약해져서 오구가 섬유로부터 분리되기 쉬운 상태가 된다. 세제는 롤링업과 액정 형성을 통해서 오구를 제거하고, 세액 중에 분리된 오구는 유화, 현탁, 가용화를 통해 세액 중에 안정적으로 분산되어 있게 된다[1-4]. 유화, 현탁, 가용화를 통해 세액 중에 분산되어 있는 오구는 세탁기의 회전, 교반과 세제의 재오염 방지제에 의해 다시 섬유에 부착되지 않고 제거된다.

롤링업은 섬유와 유성오구의 접촉각이 점점 커지다가, 180°가 되면 외부에서 에너지가 가해지지 않아도 자동적으로 오구가 섬유로부터 분리, 제거되는 형상이다. 하지만 실제 세탁에서는 오구와 섬유의 접촉각이 180°가 되기 힘들기 때문에 기계적인 힘의 작용이 필요하다[4]. 극성 유성오구 또는 비극성 요성오구 속에 극성물질이 섞여 있는 경우에 세제의 계면활성제 분자가 오구의 계면에 흡착되고, 흡착된 계면활성제 분자의 농도가 높아지면 오구 내부로 침투하고, 삼투압에 의해 물도 오구 내로 침투하여 일정한 배열을 이루게 되는데, 이를 액정이라 부른다. 액정이 형성이 되었을 때 기계적인 힘이 작용하면, 오구가 유화 또는 가용화되어 세액 속으로 쉽게 분산된다[4]. 물과 기름에 소량의 계면활성제를 넣고 흔들면 장시간 방치하여도 분리되지 않는 유백색의 혼합액체가 이루

어지는데 이러한 현상을 유화라고 한다. 현탁은 고체입자가 액체 속에 분산되어 있는 것을 의미한다. 물과 기름에 대량의 계면활성제를 넣고 흔들면 유화와 다르게 투명하고 균일한 액체가 얻어지는데, 이를 가용화라고 한다. 섬유에 부착되어 있던 오구는 제거되어 세액 중에 있을 때, 계면활성제에 의해 유화, 현탁, 가용화되고 이를 통해서 세액에 안정적으로 분산되어 있게 된다[1-4].

세제의 이화학적인 작용에 의해 오구가 섬유로부터 분리가 되기 쉬운 상태가 되면 세탁기의 회전으로 인한 수류, 직물의 굽힘, 직물 간의 마찰 등 기계적인 힘으로 인해 오구가 섬유로부터 완전히 제거되고, 분리된 오구가 섬유로부터 멀리 운반되어 재오염이 방지된다[4]. 또한 세탁기의 기계적인 작용은 세액의 순환을 통해 신선한 세액을 표면에 공급하여 지속적으로 오구가 제거될 수 있도록 하는 역할을 한다.

2.2. 민감도 분석

본 연구의 진행 과정에서 민감도 분석을 통하여 7가지 리프터 형상요인 중 주요한 영향을 주는 4가지의 리프터 형상 요인을 도출하였다. 민감도 분석은 불확실성이 존재하는 모든 영역에서 사용될 수 있는 방법으로, 한 모형에서 변수가 불확실할 때, 이 변수가 취할 수 있는 가능한 값들을 모두 대입해 변수의 변화에 따라 결과가 어떻게 되는가를 분석하는 것을 말한다[19]. 즉, 연구의 결과가 특정 변수 또는 가정이 변할 때 얼마나 민감한가를 알아보는 것이다. 민감도 분석은 결과에 중요한 영향을 미치는 변수들을 알 수 있게 해준다[20].

Ⅱ. 실험

1. 시료

본 연구에서는 AHAM HLW-1-2013[22] 규격에 맞는 100% 면직물을 사용하였다. 규격에 따르면 towel과 pillow case, bed sheet을 각각 13매, 4매, 2매를 넣어서 규정 시험 세탁 부하 질량인 8lb를 만들어야 한다. 그러나 본 연구에서는 모든 세탁물 더미를 pillow case로 통일하여 16매 사용하였다.

세탁물거동 관찰 시에는 pillow case 중 한 장을 파란색으로 염색하여 표지직물로 삼고, 총 4매의 pillow case를 세탁물거동 관찰에 이용하였다. 시료로 사용한 IEC pillow case의 자세한 사양은 표 1에 나타내었다.

Table 1. Specification of the cotton base pillow case[23]

		Pillow case
Substrate		Long staple pure cotton 100%
Yarn		Ring spun
Twist of thread (T/m)	Warp	600±20
	Weft	500±15
Number of thread (tex)	Warp	33±1
	Weft	33±1
Weave		Plain 1/1
Number of picks (picks/cm)	Warp	24±1
	Weft	24±1
Mass per unit area (g/m^2)		185±10
Size (mm)	Length	800±50
	Width	800±20
	Thickness	0.84±0.02
Weight per piece (g)		240±5
Water uptake in (%)		138±10
Finishing		desizing, boiling off, bleaching, stiffening starch

2. 세탁기 및 리프터

2.1. 세탁기

본 연구에서는 17kg 용량의 드럼세탁기(Samsung, WF7500K)를 사용하였다. 세탁물거동 관찰용 세탁기는 용이한 관찰을 위해 드럼통과 문의 재질을 변경하여 앞면과 옆면을 투명하게 개조하였다. 세척성 평가용 세탁기는 별도의 개조 없이 원형 그대로 사용하였다. 사용된 세탁기의 실제 사진은 그림 1과 같다.

Washer for fabric movement analysis	Washer for evaluating detergency

Figure 1. Photos of front-loading washers for analysis of fabric movement(left) and evaluation of detergency(right).

본래 세탁기에는 세탁물량 감지 센서와 수위 감지 센서가 장착되어 있어 투입된 세탁물량에 따라 적당한 세탁수량을 공급하도록 설정되어 있다[24]. 하지만 본 연구에서는 삼성전자에서 세탁용수를 수동적으로 공급할 수 있는 장치를 제공받아 실험 설계에 맞게 세탁수량을 수동으로 조절하여 급수하였다.

2.2. 리프터

본 연구에서는 리프터의 형상요인을 W_f(앞쪽 폭), W_b(뒤쪽 폭), W_m(중간 폭), c(하부 폭 대비 상부 폭의 비율), H_f(앞쪽 높이), H_b(뒤쪽 높이), L(길이)의 7가지로 분류하였다(그림 2).

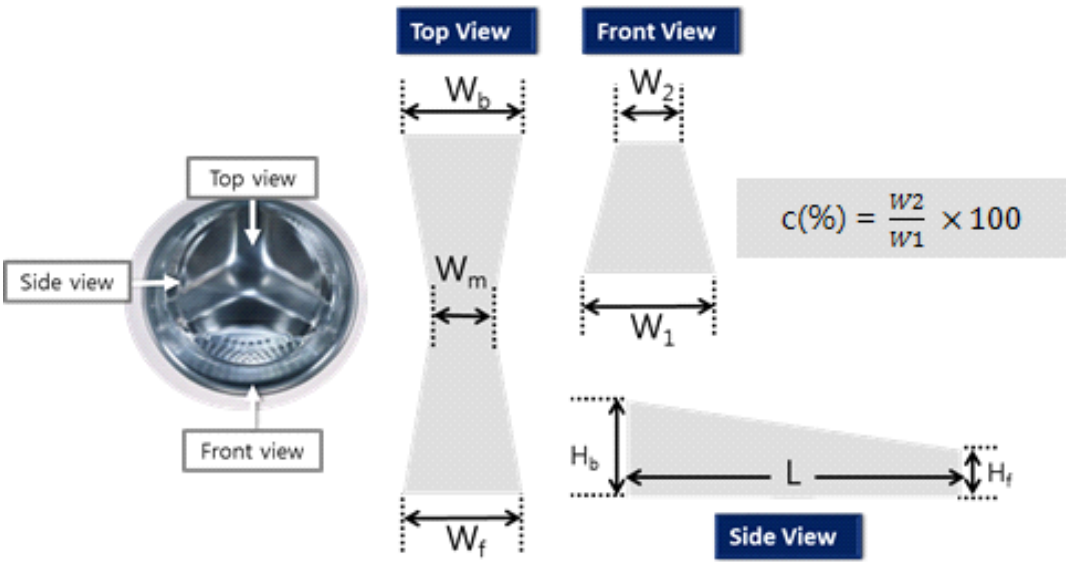
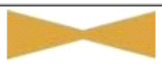


Figure 2. Seven factors of lifter shape.

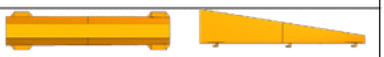
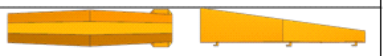
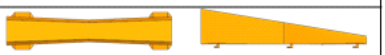
이 7가지 요인을 기존에 세탁기에 장착되어 있는 리프터(이하 기존의 리프터, L_{ref}) 대비 50%와 200%로 변형하여 제작한 리프터 8개(이하 1차 리프터, $_pL$+숫자로 표기)를 삼성전자에서 제공받았다. 길이의 경우에는 드럼통의 깊이에 한계가 있어서 200%까지 변형하지는 못하고 최대치인 약 133.13%로 변형하였다. 사용된 1차 리프터의 자세한 사양은 표 2에 나타내었다.

Table 2. Specification of lifter shape(L_{ref}, $_pL1$-$_pL8$)

	Back	Front	Back	Front	W_b (mm)	W_f (mm)	W_m (mm)	H_b (mm)	H_f (mm)	c (%)	L (mm)
L_{ref}					68	68	46	52	25	50	342
$_pL1$					136	34	92	104	12.5	25	442
$_pL2$					34	136	92	26	50	25	442
$_pL3$					136	136	23	26	12.5	100	442
$_pL4$					34	34	23	104	50	100	442
$_pL5$					136	34	92	26	50	100	171
$_pL6$					34	136	92	104	12.5	100	171
$_pL7$					136	136	23	104	50	25	171
$_pL8$					34	34	23	26	12.5	25	171

위의 1차 리프터 8개의 세척성 실험 결과를 바탕으로 7가지 리프터 형상 요인 중 세탁기의 상용화를 고려한 범위 내에서 세척성에 주요한 영향을 미치는 4가지 리프터 형상 요인이 W_m, c, H_b, H_f인 것을 민감도 분석으로 도출하였다. W_m, c, H_b, H_f의 4가지 요인을 기존의 리프터와 대비하여 3수준으로 변형하여 제작된 18개의 리프터(이하 2차 리프터, L+숫자로 표기)를 삼성전자에서 제공받았다. 사용된 2차 리프터의 자세한 사양은 표 3에 나타내었다.

Table 3. Specification of lifter shape(L_{ref}, L1-L18)

Back Front Back Front	W_b (mm)	W_f (mm)	W_m (mm)	H_b (mm)	H_f (mm)	c (%)	L (mm)
L1	61.0	61.0	46.0	36.4	17.5	40	342.0
L2			61.0	52.0	25.0	50	
L3			78.2	72.8	37.5	80	
L4			46.0	52.0	37.5	40	
L5 			61.0	72.8	17.5	50	
L6			78.2	36.4	25.0	80	
L7			46.0	36.4	37.5	50	
L8			61.0	52.0	17.5	80	
L9 			78.2	72.8	25.0	40	
L10 			46.0	72.8	17.5	80	
L11			61.0	36.4	25.0	40	
L12			78.2	52.0	37.5	50	
L13			46.0	72.8	25.0	50	
L14			61.0	36.4	37.5	80	
L15			78.2	52.0	17.5	40	
L16			46.0	52.0	25.0	80	
L17			61.0	72.8	37.5	40	
L18			78.2	36.4	17.5	50	
L_{ref}	68.0	68.0	46.0	52.0	25.0	50	342.0

3. 세탁물거동 분석

3.1. 세탁조건

기존의 리프터를 장착한 조건과 리프터를 장착하지 않은 조건에서 IEC pillow case 4매에 대해서 세탁수량을 변화시키면서 드럼세탁기 내 세탁물거동을 관찰하였다. 투입한 세탁수량은 세탁물거동의 관찰에 가장 용이한 8.0L와 자동 급수되는 세탁수량인 12.0L, 그보다 많은 16.0L이다.

2차 리프터의 세탁물거동을 관찰할 때에는 IEC pillow case 4매를 사용하고 세탁물의 거동을 관찰하기 용이하였고, 자동으로 세탁수량을 공급하였을 때와 유사한 거동을 보이는 8.0L 세탁수량을 공급하였다.

세탁기 유입수 공급장치(SH-WB90R, Samheung Energy)를 사용하여 실험실에서 공급되는 증류수의 온도를 15℃로 맞추고, 실험설계에 따른 세탁수량만큼 수동으로 공급하였다.

Table 4. Amount of water used at each experiment condition of fabric movement analysis

	With or without reference lifter			With lifters
Water(L)	8.0	12.0	16.0	8.0

시료(pillow case)는 상온에서 24시간 이상 자연 건조된 세탁물 더미를 그림 3과 같이 앞쪽, 왼쪽, 뒤쪽, 오른쪽의 순서로 엇갈리게 투입하였다. 이때 시료의 중앙 부분을 쥐고 느슨하게 매달리도록 시료를 흔든 뒤에 세탁기에 투입하였다.

Loading example

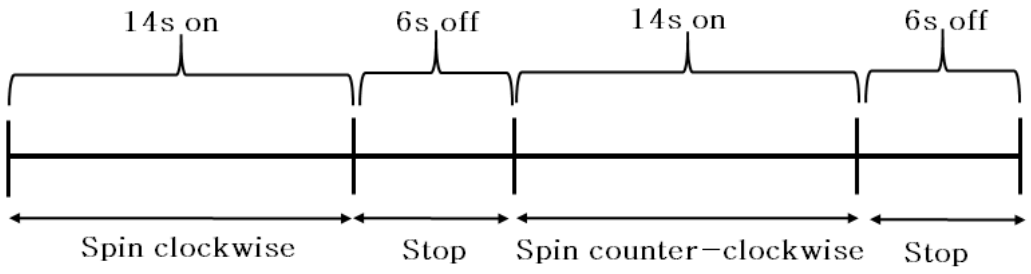
Figure 3. Loading example of pillow cases according to AHAM HLW-1-2013[22].

세탁물거동 관찰 시에는 세제가 첨가된 경우, 거품이 일어나서 관찰을 방해하기 때문에 세제를 첨가하지 않았다.

본 연구에서 사용한 세탁 코스는 “Eco Cold” 모드로 47rpm의 회전속도를 가진다. 세탁기는 14초 동안 회전하고 6초 동안 멈추는 사이클을 반복하였다. 사이클은 시계 방향으로 회전하는 사이클과 반시계 방향으로 회전하는 사이클로 나뉘었다. 표 5에서 나타난 것처럼, 세탁기는 14초 동안 시계 방향으로 회전한 뒤 6초 멈추었다가 반시계 방향으로 14초 회전하고 6초 멈추는 사이클을 반복하였다.

Table 5. Operating condition of front-loading washer for analyzing fabric movement

	Operating conditions
Drum speed (revolutions per minute)	47rpm
Reversing rhythm	14s on
	6s off



3.2. 세탁물거동 촬영

디지털 카메라(Digital camera, Samsung NX-mini)를 이용하여 드럼 세탁기 내 세탁물 거동을 촬영하였다. 카메라의 촬영조건은 수동모드에서 노출 1/500, ISO 1600, 초당 30프레임 촬영으로 설정하였다. 시료가 물에 충분히 젖을 수 있도록 세탁기 작동 10분 후부터 촬영을 시작하였다. 세탁기 작동 10분 후부터 헹굼으로 넘어가기 전까지 촬영을 한 동영상을 개인 컴퓨터로 옮겨 동영상 파일(.avi)로 저장하였다. 전체 동영상을 OGG Video Converter 6(Hoo Technologies)를 이용하여 사진(.jpg)으로 추출하였다. 추출된 사진 중에서 표지직물이 가장 잘 보이고, 전체 동영상에서 나타나는 세탁물 거동을 가장 잘 반영하였다고 판단이 된 반시계 방향의 한 사이클을 분석 대상으로 정하였다. 육안 관찰을 통해서 시계 방향과 반시계 방향의 사이클이 세탁물 거동에 차이가 없음을 확인하였다.

세탁물거동을 분석하기 위해 TEMA motion(Image systems)을 이용하였다. 선정한 반시계 방향의 사이클을 0.1초 간격으로 하여 147프레임을 추출하여 관찰하였다.

3.3. 동영상 분석

세탁물거동을 분석하기 위해 TEMA motion(Image systems) 이미지 분석 프로그램을 이용하였다. 프로그램에서 outline 기능을 통해 표지 직물의 윤곽선을 추적였다. 프로그램의 time table 기능을 통하여 윤곽선을 통해 얻은 직물의 면적, 위치(직물중심, 상하좌우 최외곽점), 좌표점으로부터의 각도 변화, 윤곽선 길이를 얻었다. 또한 프로그램의 distance 기능을 통해서 드럼 중심(Point#1)과 직물 중심(Point#3)의 거리에 대한 수치적인 정보를 얻었다. 그리고 프로그램의 XY Diagram 기능을 이용하여서 누적된 윤곽선을 시각적으로 표현한 이미지를 얻었다.

기존의 리프터가 장착되어 있을 때와 리프터가 장착되어 있지 않을 때 세탁수량별로 147프레임씩 분석하였다. 또한 2차 리프터 18개를 장착했을 때의 세탁물거동을 리프터 별로 147프레임씩 2회 분석하였다.

Example for fabric outline tracing and movement analysis

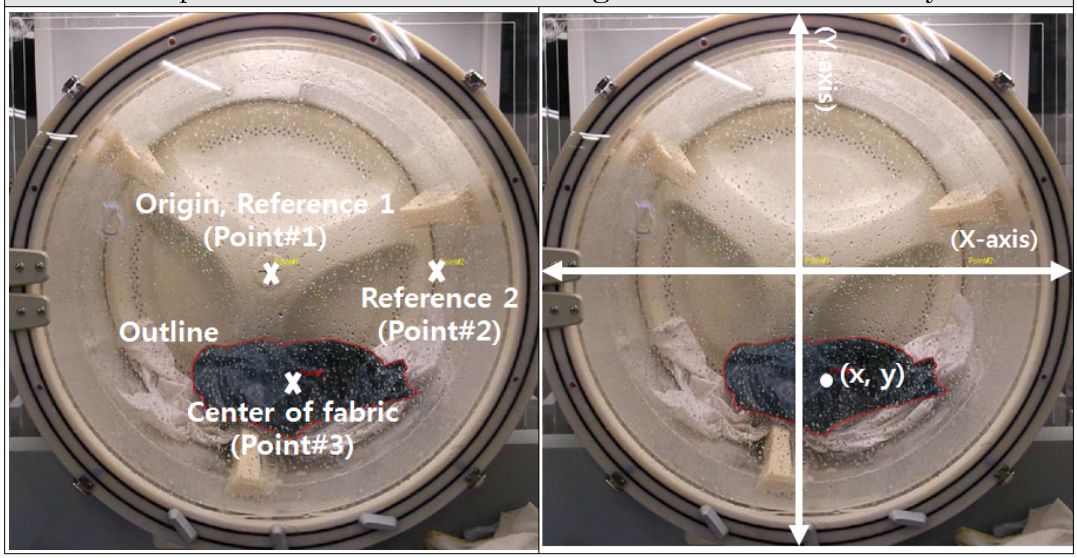
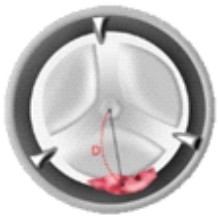
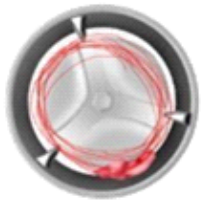
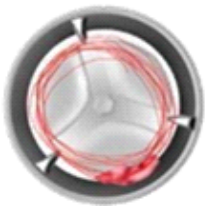
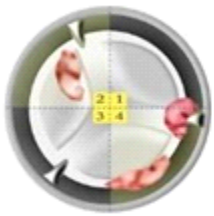
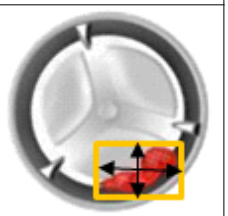


Figure 4. Tracing and digitizing of fabric movement in a front-loading washer.

실제 거리를 아는 두 점을 통해서 직교좌표계를 만들기 위해서 그림 4의 왼쪽에서 보이는 것과 같이 드럼의 중심을 원점(Origin)과 기준점 1(Reference 1)로 보고, 드럼통 안쪽의 끝부분을 기준점 2(Reference 2)로 보았다. 기준점 1과 기준점 2를 잇는 직선을 x축으로 하고, 원점을 지나고 이 직선에 수직인 직선을 y축으로 하는 좌표계를 만들었다[25]. 직물의 중심(Center of fabric; x, y 좌표)은 프로그램 상에서 윤곽선(Outline)의 좌우 최외곽점의 중점의 x좌표와 상하 최외각점의 중점의 y좌표로 정의되었다. 그림 4의 오른쪽과 같이 2차원적 좌표평면 상에서 추적한 윤곽선의 형태에서 표지직물의 면적, 윤곽선 길이를 수치화하여 표현할 수 있었다. 또한 직물중심을 기준으로 표지직물의 위치(직물중심, 상하좌우 최외곽점)을 알 수 있었고 이를 바탕으로 표지직물의 이동 거리와 속도를 수치화할 수 있었다[24]. 이렇게 얻은 수치화된 세탁물거동 정보를 기반으로 선행연구[25]에서 사용한 세탁물거동 지수를 수정, 보완하여 총 13가지 세탁물거동 지수를 도출하였다. 13가지 세탁물거동 지수의 정의는 아래의 표 6에 나타내었다.

Table 6. Fabric movement index[25]

Index	Definition	Conceptual image
Distance from the center of drum	Distance between the center of the drum and the center of the fabric	
Changed angle of center of fabric	Changes in the angle of the center of fabric between frames	
Speed difference between drum and fabric	Difference between the spinning speed of the drum and moving speed of the fabric	
Outline length	Outline length of the fabric	
Fabric area	Area created by the fabric outlines	
Shape factor	Value of dividing the fabric area with the outline length	

Total distance moved	Sum of distance the center of fabric moved between frames	
Number of falling	Number of times the fabric dropped from first or second quadrant to third or fourth quadrant	
Number of rotating	Number of rotating attached with drum wall	
Number of sliding	Number of sliding or rolling down in the fourth quadrant	
Number of folding	Number of being folded (number of peaks in the graph for fabric area)	
Position factor	Values from dividing the number of appearance of the center of fabric in the second quadrant with the number of appearances in the fourth quadrant	
Longest distance of fabric area	Longest distance between width or height of fabric area	

4. 세척성 평가

4.1. 세탁조건

4.1.1 인공오염포

본 연구에서는 인공오염포를 사용하여서 리프터의 존재와 리프터 형상에 따라 세척성이 어떻게 달라지는지 평가하였다. Swissatest사에서 구입한 EMPA 109 인공오염포를 사용하였다. 인공오염포의 조성은 아래 표 7과 같다.

Table 7. Soiling composition of artificial soiled fabrics[22, 23]

	Composition
Pigment/ sebum	Synthetic pigment ; Kaolin, Flame soot 101, Iron oxide black, Iron oxide yellow Synthetic sebum ; Beef tallow, Lanolin, Free fatty acids, Hydrocarbon mixture, Cutina, Cholesterol, Fatty acid triglycerides
Carbon black/ mineral oil	Carbon black paraffin oil
Blood	Fresh pig blood stabilized by 10g/L Ammonium Citrate
Chocolate and milk	Unsweetened(unalkalized) cocoa and sugar, full-cream cow's milk, water
Red wine	Alicante red wine

EMPA 109 오염포는 12cm×12cm의 백포(unsoiled), pigment/sebum (이하 sebum), carbon black/mineral oil(이하 carbon black), blood, chocolate and milk(이하 cocoa), red wine이 한 줄로 연결되어 있는데, 이 strip을 반으로 나누어 각각의 오염포가 모두 6cm×12cm이 되게 잘라서 사용하였다. 재봉틀을 사용하여 인공오염포 strip을 pillow case에 부착하였다(그림 5).

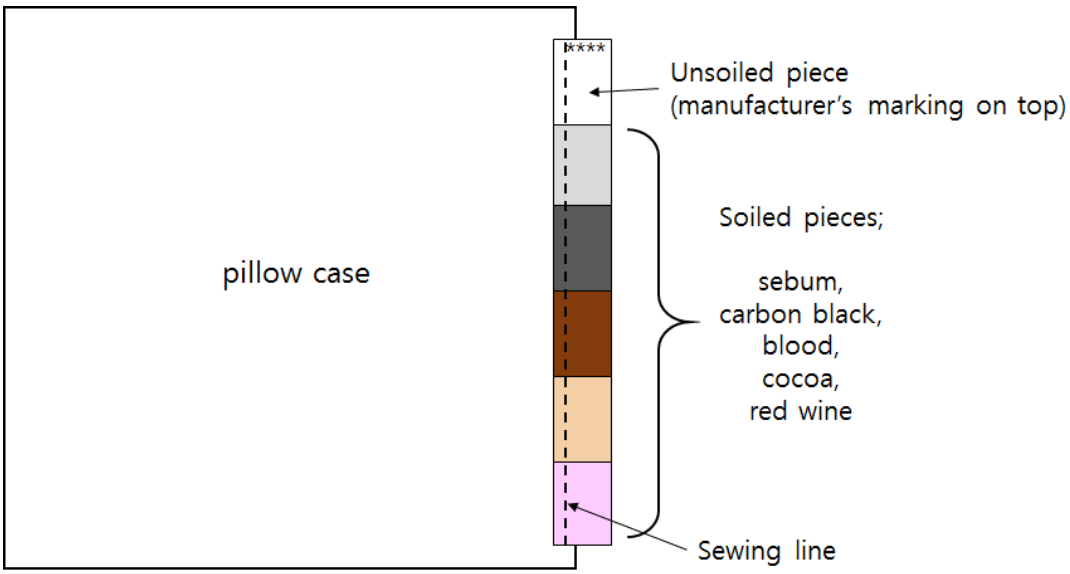


Figure 5. Attached artificial soiled strip on pillow case.

인공오염포는 표면과 이면에서 반사율 값과 물리적 특성이 다르게 나타나므로, pillow case에 부착할 시에 모든 인공오염포를 동일한 방향으로 부착하였다. 인공오염포를 부착한 pillow case는 20.0℃, 65% RH 조건의 항온항습기(PL-3KPH, ESPEC CORP.)에 넣어서 컨디셔닝하였다. 인공오염포는 냉장 보관하여 오염물질의 성분이 변질되는 것을 방지하였으며, 밀봉을 뜯은 인공오염포는 최대한 빠른 시일 안에 사용하였다.

4.1.2. 시료준비

세척성 평가 실험에서 사용한 시료는 세탁물거동 분석 실험에서 사용한 것과 동일하게 pillow case를 사용하였다. 리프터의 장착 여부에 따른 세척성 평가 실험에서는 2매의 pillow case와 인공오염포를 부착한 2매의 pillow case, 총 4매의 pillow case를 사용하였다. 1차 리프터의 세척성을 평가하는 실험에서는 12매의 pillow case와 4매의 인공오염포가 부착된 pillow case, 총 16매의 pillow case를 사용하였다. 2차 리프터의 세척성 평가 실험에서는 2매의 pillow case와 인공오염포를 부착한 2매의 pillow case, 총 4매의 pillow case를 사용하였다.

리프터 장착 여부에 따른 세척성 평가 실험과 2차 리프터 세척성 평가 실험에서 시료를 넣을 때에는 세탁물거동 분석 실험과 마찬가지로 그림 3과 같이 시료가 서로 엇갈리게 투입하였다.

4.1.3. 세탁용수

세탁기 유입수 공급장치(SH-WB90R, Samheung Energy)를 사용하여 실험실에서 공급되는 증류수의 온도를 15℃로 맞추고, 실험설계에 따른 세탁수량만큼 수동으로 공급하였다.

세탁수량은 표 4에 나타낸 세탁물거동 관찰시 투입되었던 세탁수량에서 0.3L를 더하여 세탁과정에서의 수위가 같도록 조정하였다. 1차 리프터의 세척성 평가 실험에서는 표준시험 규격의 부하량에 맞는 부하량을 사용하여 12.5L의 물을 사용하였다. 2차 리프터의 세척성 평가 실험에서는 세탁물거동 관찰과 같은 조건을 맞춰주기 위해서 8.3L의 세탁수량을 사용하였다.

4.1.4. 세제

세제는 AHAM HLW-1-2013에서 표준 실험세제로 명시한 AHAM HLW-1 Formula 3 세제[22]를 사용하였으며, 세제의 조성은 표 8에 나타내었다.

Table 8. Ingredients of AHAM HLW-1 Formula 3[22]

Ingredient	%
Linear alkylbenzene sulfonate, sodium salt (LAS)	11.3
Nonionic surfactant	6.0
Sodium soap	4.1
Silicone, suds suppressor	5.0
Sodium aluminosilicate solids	36.3
Sodium carbonate	14.9
Sodium polyacrylate	3.1
Sodium silicate solids	3.8
Carboxymethylcellulose	1.5
Phosphonate	3.6
Optical brightener	0.3
Protease (Savinase 8.0)	0.5
Sodium perborate monohydrate	1.0
Sodium sulfate	Balance

AHAM HLW-1 Formula 3는 IEC 60456(5th edition)에서 표준 실험세제로 명시한 IEC reference detergent A^*와 1%의 Perborate Monohydrate를 섞은 것과 같은 조성을 가진다. 또한 IEC reference detergent A^*와 1.5%의 Sodium Perborate Tetrahydrate를 섞은 것으로 대체될 수 있다[22].

세제는 표준시험 규격[22]에 맞게 4매의 pillow case를 사용한 경우에는 35.0g, 16매의 pillow case를 사용한 경우에는 59.0g의 세제를 사용하였다. 기존의 리프터의 장착여부에 따라 세탁수량별 세척성을 평가한 경우에는 리프터의 장착여부에 따른 차이점을 비교하기 위해 세액의 농도를 일정하게 유지하였다. 실험조건 별로 사용한 세탁수량과 세제의 양을 정리하면 표 9와 같다.

Table 9. Amount of water and detergent used at each experiment condition of detergency evaluation

	With or without reference lifter			With primary lifters	With lifters
Water(L)	8.3	12.3	16.3	12.5	8.3
Detergent(g)	35.0	52.5	70.0	59.0	35.0

4.1.5. 세탁, 헹굼 및 건조

세척성 평가에 있어서 세탁시간은 드럼세탁기의 "Eco Cold" 모드의 세탁 시간인 16분으로 하였다. 세탁 코스가 종료된 후, 시료에서 인공오염포를 분리하였고, 세탁용수와 같은 온도인 15℃의 정지되어 있는 증류수로 10분씩 3회 헹구었다. 헹굼이 끝난 후, 인공오염포를 2개의 면백포로 사이에 넣고 150℃의 다리미로 3분 동안 다림질한 뒤 상온에서 24시간 이상 자연건조 하였다[22].

4.2. 세척성 평가

분광광도계(Minota CM-2600d)를 이용하여 세탁 전과 세탁 후의 인공오염포의 520nm 파장에 대한 표면 반사율 값을 측정하여 세척성을 평가하였다[24]. 표면 반사율을 측정할 때에는 인공오염포를 4매로 겹쳐서 측정하였다. 인공오염포의 표면과 이면에서 각각 4 군데의 반사율 값을 측정하여 한 인공오염포 당 8개의 반사율 값을 얻고, 그 값의 평균값을 사용하였다.

측정한 반사율을 Kubelka-Munk equation(식 1)을 이용하여 K/S 값으로 변환한 후, 식 2를 이용하여 세척성을 계산하였다.

$$K/S = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad \text{... [Eq. 1]}$$

K: absorption coefficient
S: scattering coefficient
R: reflectance

$$D = \frac{(K/S)_s - (K/S)_w}{(K/S)_s - (K/S)_o} \times 100 \quad \text{... [Eq. 2]}$$

D: Detergency
$(K/S)_s$: K/S value of the soiled fabric
$(K/S)_w$: K/S value of the washed fabric
$(K/S)_o$: K/S value of the original fabric

5. 통계분석 및 민감도 분석

리프터의 형상과 세탁물거동, 세척성 간의 상관분석과 회귀분석을 하기 위해서 통계 프로그램 IBM SPSS Statistics 23을 사용하였다.

1차 리프터의 형상과 세척성 데이터에 대해서 Pearson의 상관분석, 회귀분석을 실시하였고, 2차 리프터의 형상과, 세탁물거동, 세척성 데이터에 대해서 Pearson의 상관분석, 회귀분석을 실시하였다.

본 연구에서 리프터의 형상요인이 세척성에 어떠한 영향을 주는지 살펴보기 위해 사용 PIDO(Process Integration and Design Optimization) 툴인 PIAnO(Process Integration, Automation, and Optimization)를 이용하였다. PIAnO (PIDOTECH)에서 제공하는 파라메트릭 스터디 기법을 이용하여 실시한 민감도 분석의 절차는 다음과 같다[21].

우선, 리프터의 형상 요인 7가지를 x인자로 하고 각 오염포 별 세척성을 y인자로 하여 각각의 데이터를 입력한다. PIAnO의 파라메트릭 스터디 기법을 사용하여 각각의 y인자에 대해서 민감도 분석을 실시하면, x인자들 중에서 어떤 인자가 가장 많은 영향을 주는 지에 대한 결과가 도출된다(그림 6). 즉, 각 오염포 별 리프터 형상인자의 순위를 1등에서 7등까지 매길 수 있다. 1등에게 7점, 7등에게 1점의 점수를 부여하는 방식으로 가중치를 주고 그 결과를 합산한 결과로 세척성에 주요한 영향을 주는 리프터 형상요인을 선별할 수 있다.

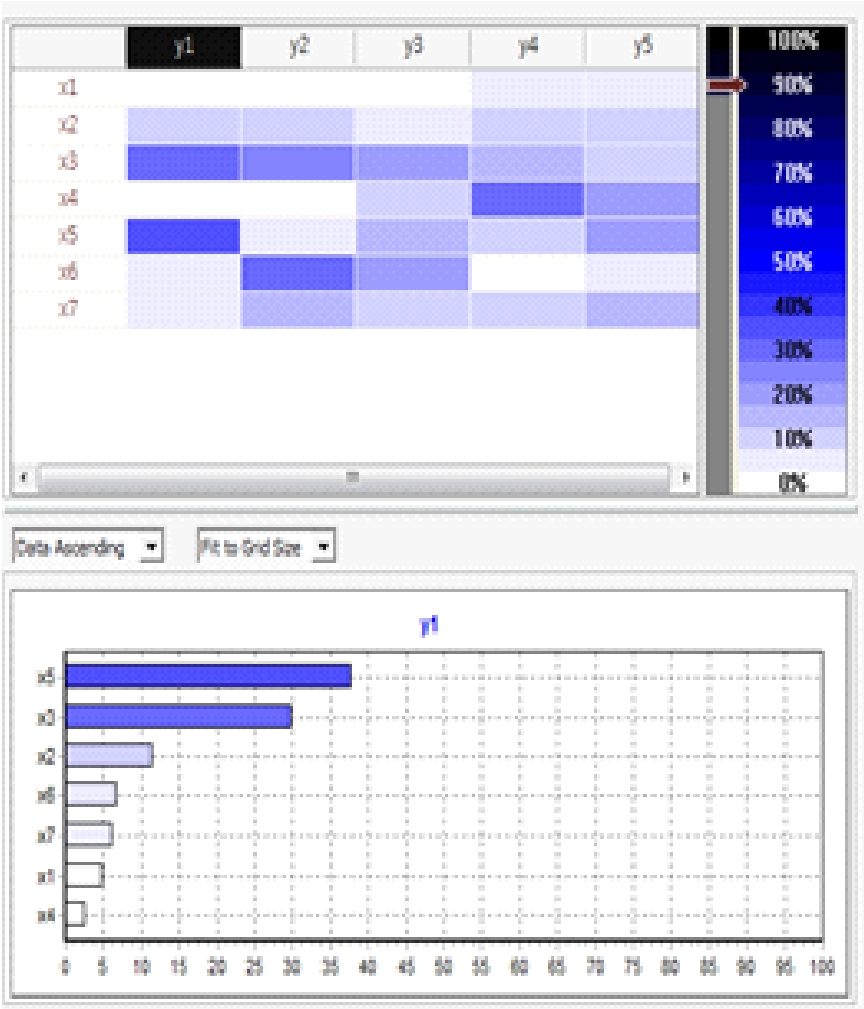


Figure 6. Example of sensitivity test by PIAnO.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 리프터 장착 여부에 따른 세탁물거동과 세척성

1.1. 리프터 미장착 시 세탁수량별 세탁물거동

리프터를 장착하지 않고 세탁수량을 8.0L, 12.0L, 16.0L로 점차 증가시키며 세탁물거동 분석을 한 결과는 표 10에 나온 것과 같다.

드럼중심으로 부터의 거리, 직물중심의 변화 각도, 드럼과 직물 간의 속도 차, 윤곽선 길이, 직물면적, shape factor, 직물면적 최장거리의 7가지 직물거동 지수의 표준편차 및 평균변화율 값이 세탁수량이 증가함에 따라서 감소한 것을 관찰할 수 있었다. 세탁수량이 8.0L에서 16.0L로 증가함에 따라 직물중심 총 이동거리는 1898.42cm에서 71.14cm로, 펼쳐짐 횟수는 6회에서 0회로, 낙하 횟수는 15회에서 0회로 감소하고, 구름 횟수는 1회에서 33회로 증가한 것을 관찰할 수 있었다. 또한 세탁수량이 12.0L, 16.0L가 된 경우에는 직물중심이 2사분면에 나타나는 경우가 없어서 position factor 값이 0이 되었다.

즉, 리프터를 장착하지 않은 경우에 세탁수량이 증가할수록 직물이 움직이는 범위가 줄어들고, 제자리에서 구르는 거동을 많이 보이게 되므로 직물거동 지수의 표준편차와 평균변화율 값이 감소하는 경향을 보인다. 이는 그림 7에 나타낸 표지직물의 움직임 패턴을 보면 확연하게 드러난다.

Table 10. Fabric movement indexes of experiments without lifter according to the amount of water

Fabric movement index \ Amount of water (L)		8.00	12.00	16.00
Distance from the center of drum (cm)	avg.	27.33	24.16	28.69
	std.	7.14	3.82	0.65
	avc.	4.31	1.69	0.30
Changed angle of center of fabric (°)	avg.	21.11	6.19	5.33
	std.	23.54	24.68	26.20
	avc.	15.26	18.37	29.01
Speed difference between drum and fabric (cm/s)	avg.	15.16	69.11	140.32
	std.	52.52	42.48	2.46
	avc.	42.71	33.43	2.66
Outline length (cm)	avg.	103.65	94.61	111.25
	std.	27.05	24.49	3.41
	avc.	10.51	7.79	2.07
Fabric area (cm^2)	avg.	417.25	233.28	437.58
	std.	176.69	94.14	25.37
	avc.	83.16	29.98	9.24
Shape factor	avg.	3.93	2.39	3.93
	std.	0.88	0.57	0.17
	avc.	0.43	0.26	0.10
Total distance moved (cm)		1898.42	1110.82	71.14
Number of falling		15	5	0
Number of rotating		0	0	0
Number of sliding		1	8	33
Number of folding		6	5	0
Position factor		4.29	0.00	0.00
Longest distance of fabric area (cm)	avg.	34.01	27.57	30.11
	std.	7.63	7.29	0.33
	avc.	4.17	2.76	0.29

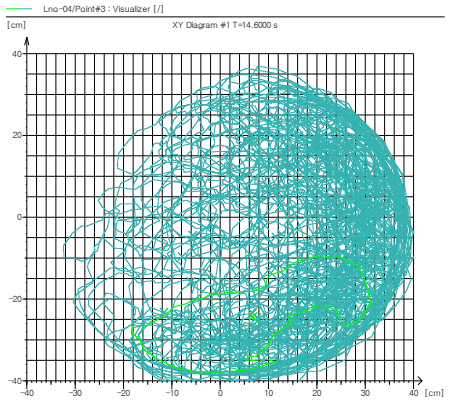
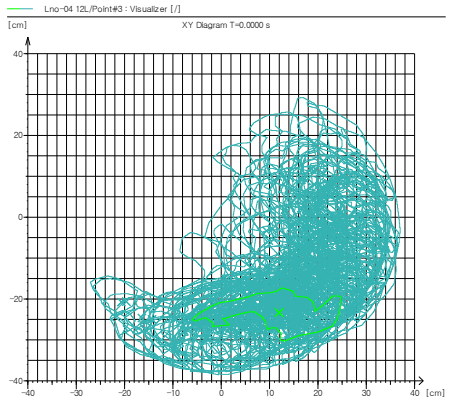
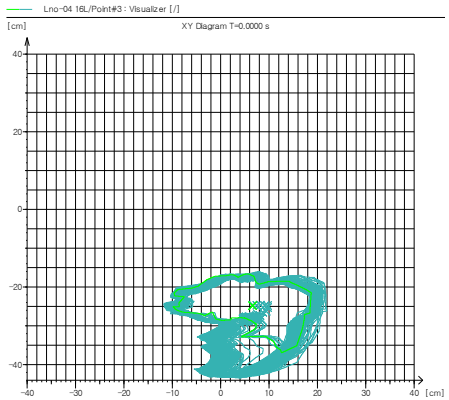
Amount of water (L)	8.0	12.0	16.0
Visualized movement pattern of tracer fabric			

Figure 7. Visualized movement pattern of tracer fabric without lifter according to the amount of water.

1.2. 리프터 장착 시 세탁수량별 세탁물거동

기존의 리프터(L_{ref})를 장착하고 세탁수량을 8.0L, 12.0L, 16.0L로 점차 증가시키며 세탁물거동 분석을 한 결과는 표 11에 나온 것과 같다.

드럼중심으로부터의 거리, 직물중심 변화 각도, 드럼과 직물 간의 속도 차, 윤곽선 길이, 직물면적, shape factor, 직물면적 최장거리의 7가지 세탁물거동 지수의 표준편차와 평균변화율이 세탁수량과 상관없이 유사한 값을 가지는 것을 볼 수 있다. 직물중심 총 이동거리는 감소하기는 했지만 리프터를 장착하지 않은 경우처럼 급격히 감소하지 않았다. 다만 세탁수량이 8.0L에서 16.0L로 증가함에 따라 구름 횟수가 0회에서 7회로, 펼쳐짐 횟수가 6회에서 10회로 증가하고, 회전 횟수가 5회에서 1회로, position factor가 29.63에서 6.85로 감소하는 것을 볼 수 있었다. 물의 양이 증가할수록 물에 의해서 리프터와 직물이 닿을 때의 마찰계수가 줄어들었기 때문에 직물이 리프터를 따라 올라가지 못하고 리프터를 건너며 구르게 되어 구름 횟수가 증가하고 회전 횟수가 감소한 것으로 보인다. 따라서 직물중심이 2사분면에 나타나는 횟수 또한 감소하였기에 position factor 값 역시 감소하였다.

증가한 세탁수량에 의해 표지직물의 윤곽을 추적하는 것이 어려워졌기 때문에 16.0L에서의 윤곽은 정확도가 떨어지지만, 그림 8에 나타낸 패턴을 보면 리프터를 장착했을 때의 표지직물의 움직임 패턴은 세탁수량에 상관없이 유사한 거동 패턴을 이루고 있음을 확인할 수 있다. 이는 앞의 그림 7에서 나타난 리프터를 장착하지 않았을 때의 표지직물의 움직임 패턴과 비교하였을 때, 리프터를 장착한 경우에는 세탁수량에 크게 구여 받지 않고 유사한 세탁물거동이 일어남을 의미한다.

Table 11. Fabric movement indexes of experiments with reference lifter according to the amount of water

Fabric movement index \ Amount of water (L)		8.00	12.00	16.00
Distance from the center of drum (cm)	avg.	24.17	22.65	26.88
	std.	5.95	7.84	6.71
	avc.	2.46	3.47	3.03
Changed angle of center of fabric (°)	avg.	27.16	19.79	9.82
	std.	18.75	30.50	38.95
	avc.	13.02	24.18	37.85
Speed difference between drum and fabric (cm/s)	avg.	22.35	39.44	45.35
	std.	33.62	47.17	67.19
	avc.	18.59	24.77	47.56
Outline length (cm)	avg.	124.00	128.53	86.42
	std.	24.31	37.74	31.19
	avc.	9.56	13.11	18.46
Fabric area (cm^2)	avg.	500.06	597.17	334.32
	std.	263.27	355.11	177.64
	avc.	88.26	112.47	91.22
Shape factor	avg.	3.89	4.41	3.60
	std.	1.51	1.59	1.21
	avc.	0.49	0.59	0.62
Total distance moved (cm)		1793.42	1543.96	1457.72
Number of falling		8	11	9
Number of rotating		5	1	1
Number of sliding		0	1	7
Number of folding		6	7	10
Position factor		29.63	11.94	6.85
Longest distance of fabric area (cm)	avg.	38.78	41.48	27.55
	std.	8.85	10.46	8.86
	avc.	4.67	4.89	6.00

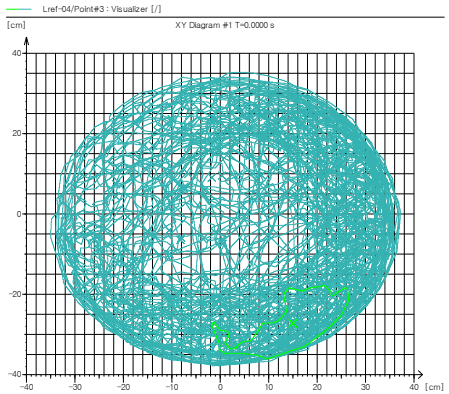
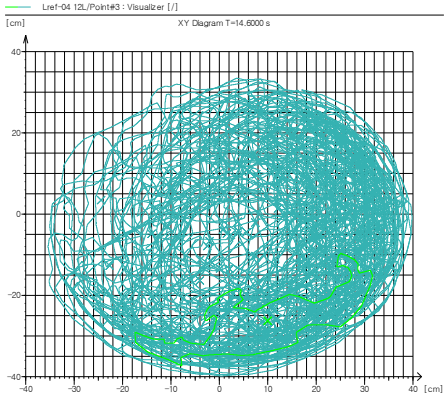
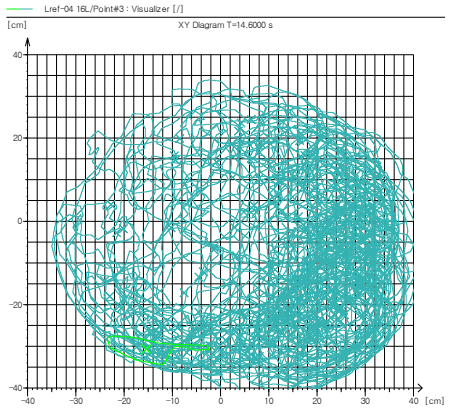
Amount of water (L)	8.0	12.0	16.0
Visualized movement pattern of tracer fabric			

Figure 8. Visualized movement pattern of tracer fabric with reference lifter according to the amount of water.

1.3. 리프터 미장착 시 세탁수량별 세척성

리프터를 장착하지 않고 세탁수량을 8.0L, 12.0L, 16.0L로 점차 증가시키며 세척성을 분석을 한 결과는 그림 9에 나온 것과 같다.

리프터를 장착하지 않았을 때, 세탁수량이 증가함에 따라 sebum과 carbon black, cocoa, red wine 오염포의 세척성이 급감하여 세척성의 총합 역시 감소한 것을 볼 수 있었다. 하지만 blood 오염포의 경우에는 세탁수량에 상관없이 비슷한 세척성을 보였다.

앞의 1.1에서 살펴본 바와 같이, 리프터를 장착하지 않았을 때는 세탁수량이 증가함에 따라 직물의 움직임이 감소하였다. Sebum, carbon black, cocoa 오염포의 세척성 또한 급격하게 감소하였다. 그 이유는 sebum, carbon black, cocoa 오염포가 기계적인 작용에 영향을 많이 받기 때문인 것으로 보인다.

앞의 표 9에 나타냈듯이, 실험조건에서 세탁수량은 증가시켰으나 세액의 농도를 일정하게 유지하였다. Blood 오염포의 세척성은 약간 감소하였으나 유의하게 차이나지 않았다. 이는 blood의 오염포의 세척성은 세제에 포함된 효소나 표백제에 의해 영향을 받는데, 세액의 농도가 일정하게 유지되었기 때문에 세척성의 차이가 나타나지 않은 것으로 보인다.

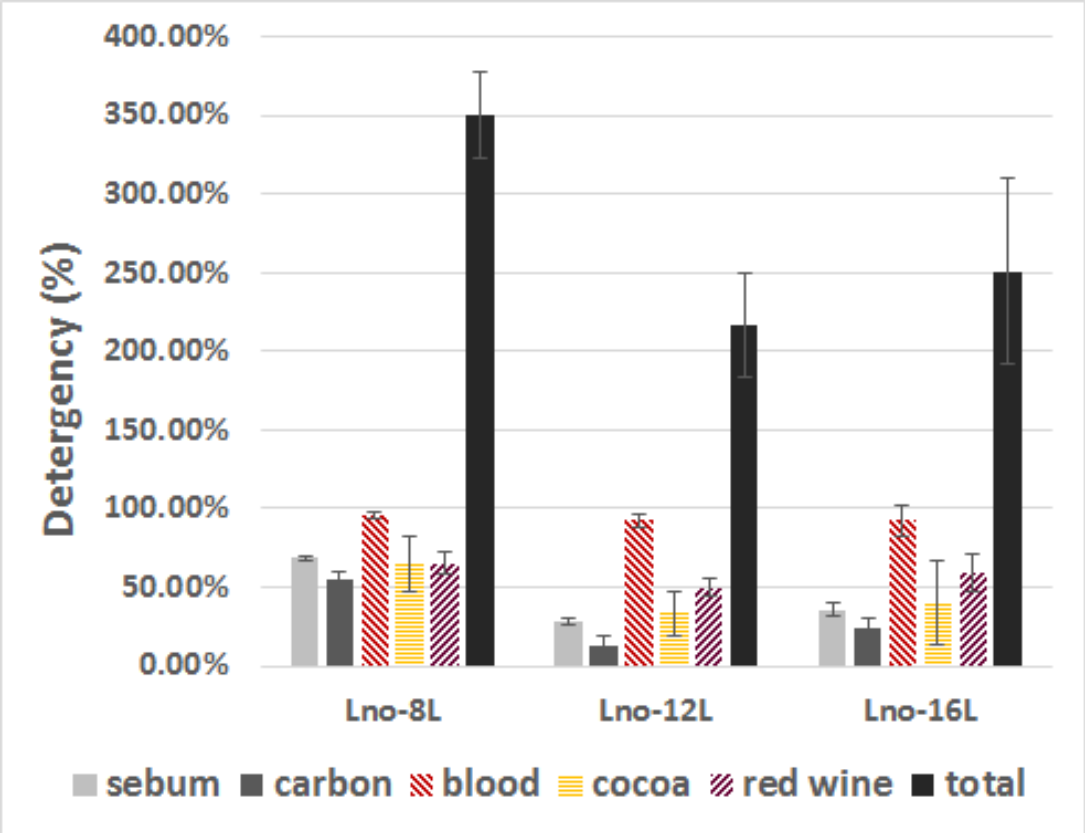


Figure 9. Detergency without lifter (L_{no}) according to the amount of water.

1.4. 리프터 장착 시 세탁수량별 세척성

기존의 리프터(L_{ref})를 장착하고 세탁수량을 8.0L, 12.0L, 16.0L로 점차 증가시키며 세척성을 분석을 한 결과는 그림 10에 나온 것과 같다.

기존의 리프터를 장착하였을 때, 세탁수량이 증가함에 따라 sebum과 carbon black, cocoa, red wine 오염포의 세척성이 약간 증가하여 세척성의 총합 역시 증가한 것을 볼 수 있었다. 하지만 blood 오염포의 경우에는 세탁수량에 상관없이 비슷한 세척성을 보였다.

앞의 1.2에서 살펴본 바와 같이, 기존의 리프터를 장착하였을 때는 세탁수량에 상관없이 직물의 움직임이 유사하였다. 세탁수량이 증가하면서 sebum, carbon black, cocoa 오염포의 세척성은 비슷하거나 약간 증가하였다. 여기서도 sebum, carbon black, cocoa 오염포는 직물의 움직임에 따른 변화를 잘 반영하여 기계적인 작용에 더 많은 영향을 받는 것을 알 수 있었다.

앞의 표 9에 나타냈듯이, 실험조건에서 세탁수량은 증가시켰으나 세제의 양 또한 증가시켜서 세액의 농도는 일정하게 유지하였다. Blood 오염포의 세척성은 약간 증가하였으나 유의하게 차이가 나지 않았다. 이는 blood의 오염포의 세척성은 세제에 포함된 효소나 표백제에 의해 영향을 받는데, 세액의 농도가 일정하게 유지되었기 때문에 세척성의 차이가 나타나지 않은 것으로 보인다.

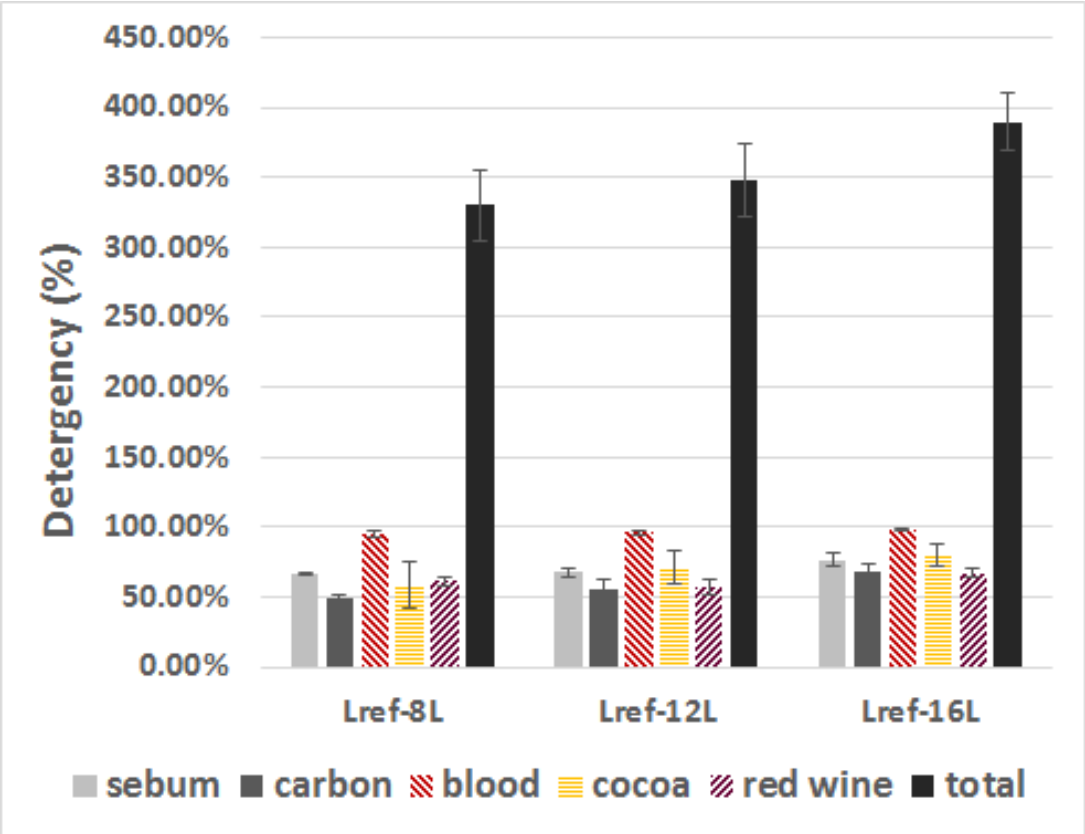


Figure 10. Detergency with reference lifter (L_{ref}) according to the amount of water.

2. 7가지 리프터 형상요인 변화에 따른 세척성

2.1. 리프터 형상에 따른 세척성

리프터의 형상요인 7가지를 변형시킨 8개의 1차 리프터($_pL1$~$_pL8$)와 기존의 리프터(L_{ref})의 세척성 실험 결과는 그림 11와 그림 12에 나오는 것과 같다.

8개의 1차 리프터 중에서 $_pL8$을 제외하면 모두 기존의 리프터보다 세척성이 향상되었다. 따라서 7가지 형상 요인(W_f, W_b, W_m, c, H_f, H_b, L)의 수치를 기존의 리프터에 대비하여 50%와 200%로 변형시킨 것이 세척성에 영향을 줌을 확인할 수 있었다. 앞의 표 2에 나오는 것과 같이 $_pL8$은 7가지 형상 요인이 모두 기존의 리프터 대비 50%로 작아진 것으로 유일하게 기존의 리프터보다 세척성이 작게 나왔다.

한편 blood 오염포는 리프터 형상에 따른 세척성의 차이가 크지 않았는데, 이는 blood 오염포가 이화학적인 작용에 영향을 많이 받기 때문인 것으로 사료된다.

리프터 형상 요인에 따라서 세척성이 어떻게 나타나는 지는 2.2에서 상관분석과 회귀분석을 통하여 자세히 분석하였다.

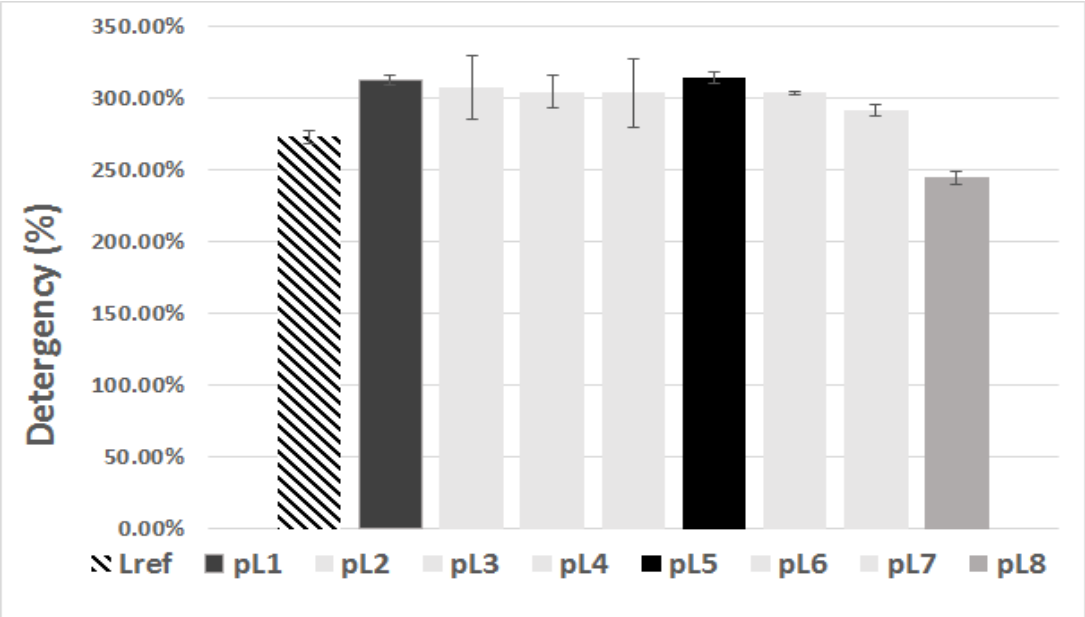


Figure 11. Total detergency(%) of primary lifters($_{p}$L1-$_{p}$L8).

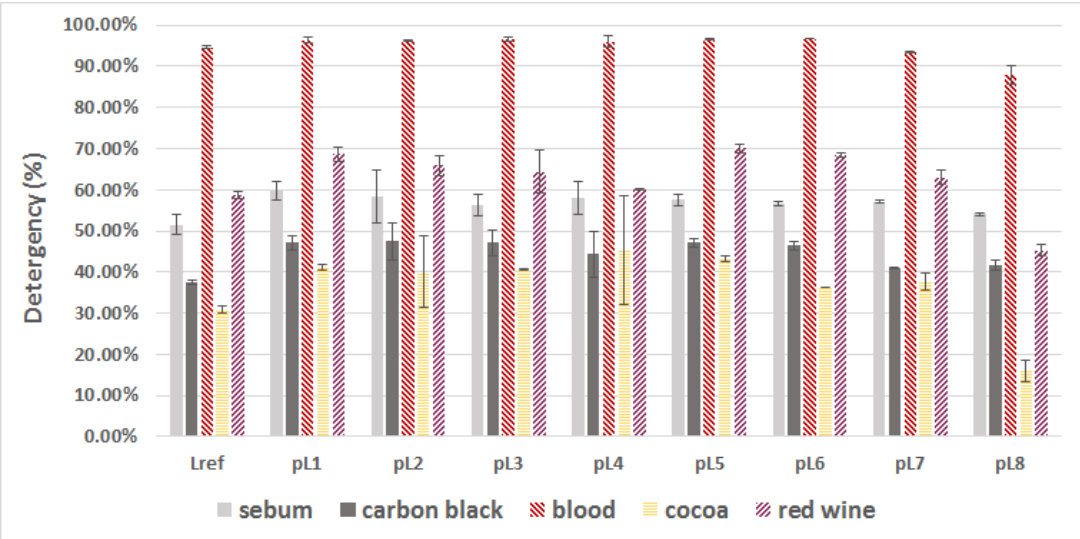


Figure 12. Detergency(%) of each soil of primary lifters($_{p}$L1-$_{p}$L8).

2.2. 7가지 리프터 형상요인과 세척성의 관계

리프터 형상요인 7가지와 세척성의 상관관계를 분석한 것은 표 12와 같다. 세척성과 유의한 상관관계를 갖는 지수는 W_m과 c였다. 중간 폭(W_m)은 carbon black, blood, red wine 오염포의 세척성, 세척성 총합과 정적인 상관관계를 가졌다. 하부 폭 대비 상부 폭의 비율(c)는 blood 오염포의 세척성과 정적인 상관관계를 가졌다. 따라서 W_m이 크고 c가 클 경우에 세척성이 향상될 것이라는 예상을 할 수 있었다.

Table 12. Correlation between seven factors of lifter shape and detergency(%)

Detergency \ Factors of lifter shape		W_b	W_f	W_m	c	H_b	H_f	L
Sebum	Pearson correlation coefficient	.179	-.063	.308	-.039	.240	.206	.338
	Significance probability	.507	.818	.246	.885	.371	.444	.200
	N	16	16	16	16	16	16	16
Carbon black	Pearson correlation coefficient	.099	.070	.544*	.302	-.181	-.098	.376
	Significance probability	.715	.796	.029	.255	.502	.717	.151
	N	16	16	16	16	16	16	16
Blood	Pearson correlation coefficient	.256	.255	.507*	.501*	.229	.202	.459
	Significance probability	.338	.341	.045	.048	.394	.452	.074
	N	16	16	16	16	16	16	16
Cocoa	Pearson correlation coefficient	.329	.116	.279	.404	.269	.427	.445
	Significance probability	.214	.668	.295	.120	.314	.099	.084
	N	16	16	16	16	16	16	16
Red wine	Pearson correlation coefficient	.432	.288	.660**	.326	.242	.204	.205
	Significance probability	.095	.279	.005	.217	.367	.448	.446
	N	16	16	16	16	16	16	16
Total	Pearson correlation coefficient	.347	.179	.512*	.378	.224	.281	.403
	Significance probability	.188	.506	.043	.149	.405	.292	.122
	N	16	16	16	16	16	16	16

*. The correlation coefficient is significant at the p-value level of 0.05

**. The correlation coefficient is significant at the p-value level of 0.01

단계 선택법을 통해서 선형 회귀분석을 한 결과는 다음과 같았다. 회귀식의 유의 수준은 $P<0.01$이었으며, R^2 값으로 본 회귀식의 설명력은 0.567이었다.

$$\text{Detergency}(\%) = 244.613 + 0.339 \times W_m + 0.068 \times L + 23.023 \times c \quad (R^2 = 0.567) \quad \text{...[Eq. 3]}$$

식 3의 세척성 회귀식을 통하여 리프터 형상요인 7가지 중에서 세척성의 총합에 영향을 미치는 것은 W_m, L, c 세 가지였다. 따라서 중간폭(W_m), 길이(L), 하부 폭 대비 상부 폭의 비율(c)이 클수록 세척성이 좋게 나오는 것을 알 수 있었다.

이상의 리프터 세척성 데이터를 바탕으로 오염포 별로 민감도 순위를 매겨서 순위의 총합을 알아본 결과는 $W_m > H_b > L$, $H_f > c > W_f > W_b$ 의 순서로 나타났다. 이는 회귀식에서 나온 영향력의 순서와 약간 다른데, 그 이유는 회귀식은 세척성의 총합에 대한 분석이었고, 민감도 분석은 오염포 별로 민감도 분석을 하고, 가중치를 매겨서 합산하는 방식으로 이루어졌기 때문인 것으로 보였다. 두 분석의 결과는 다른 점이 있었지만, W_m, L, c가 영향력이 크다는 것은 확인할 수 있었다.

3. 4가지 형상요인 변화에 따른 세탁물거동과 세척성

3.1. 리프터 형상에 따른 세탁물거동과 세척성

앞의 2.2의 7가지 리프터 형상요인에 변화를 준 리프터 별 세척성 결과를 바탕으로 2차 리프터를 제작할 때에 변형을 줄 주요 요인 4가지가 선정 되었다. 그 과정에서 L과 W_b, W_f는 제거되었다. 그 이유는 리프터의 길이(L)는 세탁기의 깊이에 따른 한계가 있기 때문에 무한정으로 늘일 수 없고, 앞쪽 폭과(W_f)과 뒤쪽 폭(W_b)은 민감도 분석에서 순위가 낮았기 때문이다. 선정된 중간 폭(W_m), 뒤쪽 높이(H_b), 앞쪽 높이(H_f), 하부폭 대비 상부 폭의 비율(c)의 4가지 형상요인을 변화시킨 리프터(2차 리프터)는 삼성전자에서 제공을 받았다.

2차 리프터 18개의 세탁물거동의 결과는 다음의 표 13-14에 나타내었다. 세탁물거동 지수의 수치만으로는 분석이 어려워 3.2에서 상관관계를 분석하는 과정에서 세탁물거동과 리프터 형상 요인의 관계를 살펴보았다.

그림 13에서 세척성의 총합이 가장 높았던 L7과 세척성의 총합이 가장 낮았던 L13의 표지직물의 움직임 패턴, 직물중심의 움직임 패턴을 나타내었다. 표지직물의 움직임 패턴은 L7과 L13에서 유사하게 나타나지만, 직물중심의 움직임 패턴을 보면 세척성이 더 좋은 L7에서 L13보다 넓은 범위에 걸쳐 움직인 것을 확인할 수 있다.

Table 13. Fabric movement index of lifters(L1-L9)

Lifter		L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9
Distance from the center of drum (cm)	avg.	26.32	25.35	24.16	25.96	23.73	25.25	24.65	25.30	22.57
	std.	6.46	6.32	6.33	6.55	6.30	7.24	6.18	6.47	5.87
	avc.	3.29	3.15	2.74	3.26	2.77	3.23	2.93	2.86	2.79
Changed angle of center of fabric (°)	avg.	26.17	24.74	23.71	28.55	29.03	26.99	25.87	27.92	26.10
	std.	22.69	25.96	26.69	16.10	18.79	21.82	21.83	19.06	25.08
	avc.	15.21	15.81	19.52	10.78	13.03	15.55	16.67	13.79	17.81
Speed difference between drum and fabric (cm/s)	avg.	11.32	17.61	22.27	10.03	22.59	14.74	21.02	17.78	30.92
	std.	40.92	41.86	39.14	38.65	33.06	42.33	41.74	40.89	36.03
	avc.	26.05	22.24	21.33	23.43	18.00	25.53	24.60	23.73	20.73
Outline length (cm)	avg.	115.75	105.71	111.26	117.10	115.47	110.98	115.65	106.50	114.49
	std.	27.24	20.44	36.85	29.51	30.09	40.96	29.72	35.21	28.36
	avc.	10.93	8.91	10.53	10.59	9.40	12.81	12.94	10.75	10.74
Fabric area (cm^2)	avg.	499.48	416.87	384.11	417.06	481.38	420.44	468.29	406.04	450.98
	std.	240.85	179.12	207.70	207.13	239.60	259.61	233.97	225.59	181.77
	avc.	88.79	70.14	76.81	86.97	82.67	82.25	96.39	78.38	81.93
Shape factor	avg.	4.12	3.83	3.27	3.39	3.98	3.50	3.86	3.55	3.88
	std.	1.20	1.06	0.99	1.15	1.19	1.30	1.32	1.14	0.84
	avc.	0.44	0.43	0.43	0.47	0.47	0.47	0.53	0.45	0.42
Total distance moved (cm)		1954.49	1862.74	1794.69	1973.40	1790.03	1904.52	1812.95	1860.15	1668.35
Number of falling		12.00	10.00	9.50	11.00	9.50	10.00	10.00	9.50	10.00
Number of rotating		1.50	2.50	3.00	2.00	3.50	3.00	2.00	3.00	2.00
Number of sliding		0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.50
Number of folding		7.50	6.50	9.00	9.00	8.00	9.00	7.00	8.00	8.00
Position factor		19.64	25.56	32.54	28.75	33.10	27.10	24.58	29.83	28.98
Longest distance of fabric area (cm)	avg.	38.98	35.92	35.13	39.01	37.51	35.68	36.47	35.76	37.22
	std.	8.17	7.02	10.70	9.19	9.30	11.49	8.95	14.24	9.18
	avc.	5.06	4.56	4.51	5.33	4.36	4.91	5.04	5.31	4.69

Table 14. Fabric movement index of lifters(L10-L18)

Lifter		L10	L11	L12	L13	L14	L15	L16	L17	L18
Distance from the center of drum (cm)	avg.	23.73	25.65	24.17	22.02	24.39	23.11	24.17	24.29	26.45
	std.	6.47	7.18	6.58	6.30	6.46	6.41	6.86	6.49	6.82
	avc.	2.79	3.76	2.95	3.16	3.20	2.87	3.10	3.32	3.22
Changed angle of center of fabric (°)	avg.	28.82	28.77	26.31	23.88	26.57	30.10	30.99	28.63	25.29
	std.	17.42	20.56	20.55	24.87	21.09	17.93	15.64	18.64	24.94
	avc.	12.93	14.63	14.15	18.53	14.31	12.63	10.93	12.73	17.27
Speed difference between drum and fabric (cm/s)	avg.	22.46	9.09	20.33	32.04	17.61	23.70	19.02	19.40	13.12
	std.	34.44	39.58	32.63	34.15	33.87	34.36	37.07	38.93	45.60
	avc.	19.68	24.35	19.29	22.72	19.55	21.62	20.47	22.37	27.44
Outline length (cm)	avg.	123.36	123.73	114.11	119.36	134.14	133.99	139.56	117.95	124.40
	std.	30.56	35.48	30.17	32.77	30.54	34.47	35.73	24.87	36.80
	avc.	9.91	11.64	9.59	12.23	10.65	11.72	9.59	9.83	11.20
Fabric area (cm^2)	avg.	531.37	504.85	461.01	460.57	546.95	475.98	612.04	461.89	533.09
	std.	252.44	264.86	212.36	198.64	273.30	206.93	328.60	177.49	274.81
	avc.	97.82	98.53	85.11	93.54	97.97	83.63	111.39	78.76	108.09
Shape factor	avg.	4.15	3.91	3.91	3.80	3.99	3.47	4.18	3.83	4.11
	std.	1.07	1.32	0.99	1.04	1.41	0.97	1.44	0.90	1.33
	avc.	0.49	0.50	0.48	0.53	0.48	0.43	0.56	0.44	0.55
Total distance moved (cm)		1791.84	1987.00	1822.96	1651.92	1862.61	1773.76	1842.08	1836.47	1928.23
Number of falling		11.00	12.50	10.50	12.00	11.50	11.00	11.00	11.50	10.00
Number of rotating		2.00	2.00	2.50	0.50	1.50	2.00	1.50	1.00	2.00
Number of sliding		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	1.50
Number of folding		7.00	9.00	9.00	8.50	9.50	8.00	7.50	7.50	7.00
Position factor		31.78	23.34	33.96	22.45	24.81	31.02	35.97	21.95	22.50
Longest distance of fabric area (cm)	avg.	39.94	40.37	37.93	38.42	42.36	43.61	44.51	38.47	40.79
	std.	9.55	10.96	9.38	9.58	8.83	10.51	9.99	7.52	11.50
	avc.	5.25	5.38	4.81	5.02	5.34	5.61	5.20	4.75	5.45

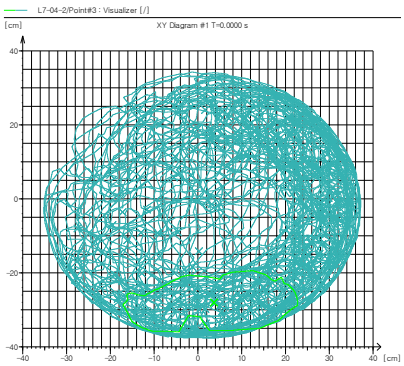
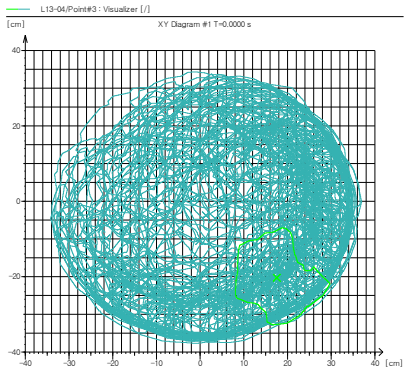
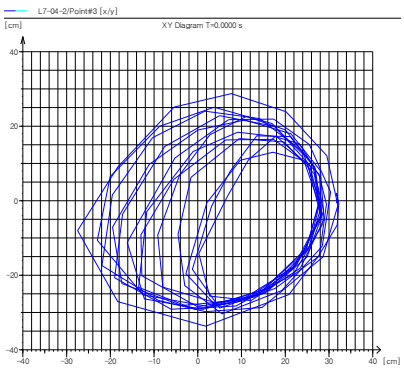
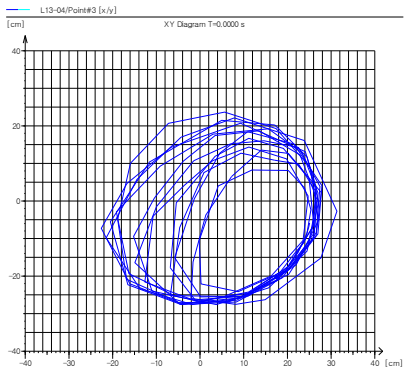
	L7 (best detergency)	L13 (worst detergency)
Visualized movement pattern of tracer fabric		
Visualized movement pattern of center of fabric		

Figure 13. Visualized movement pattern of tracer fabric and center of fabric at best detergency(L7) and worst detergency(L13).

2차 리프터 18개의 세척성 총합과 sebum과 carbon black 오염포의 세척성의 합은 다음의 그림 14에 나타내었다. 기계적인 작용에 많은 영향을 받는 것으로 여겨지는 sebum과 carbon black 오염포의 세척성만을 합하여 리프터 형상과 세탁물거동, 세척성의 관계를 기계적인 작용에 더 중점을 두어 분석하고자 하였다. 각 오염포의 세척성은 그림 15에 나타내었다. Blood 오염포의 경우, 리프터의 형상에 따른 차이가 크지 않았는데, 이는 blood 오염포가 이화학적인 작용에 더 많은 영향을 받기 때문인 것으로 사료된다.

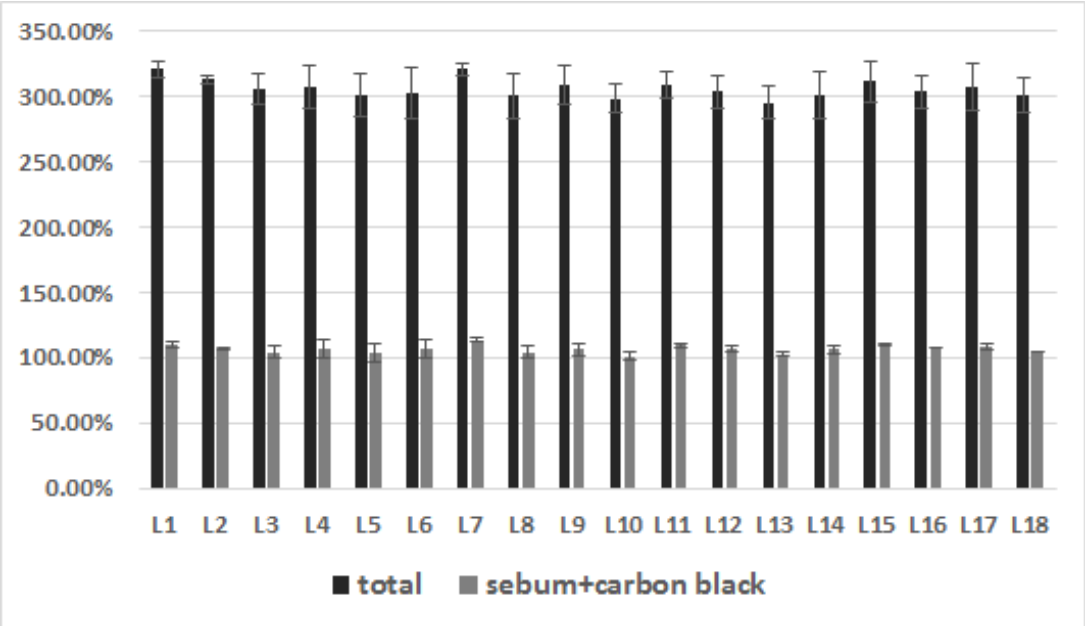


Figure 14. Detergency(%) of lifters(L1-L18).

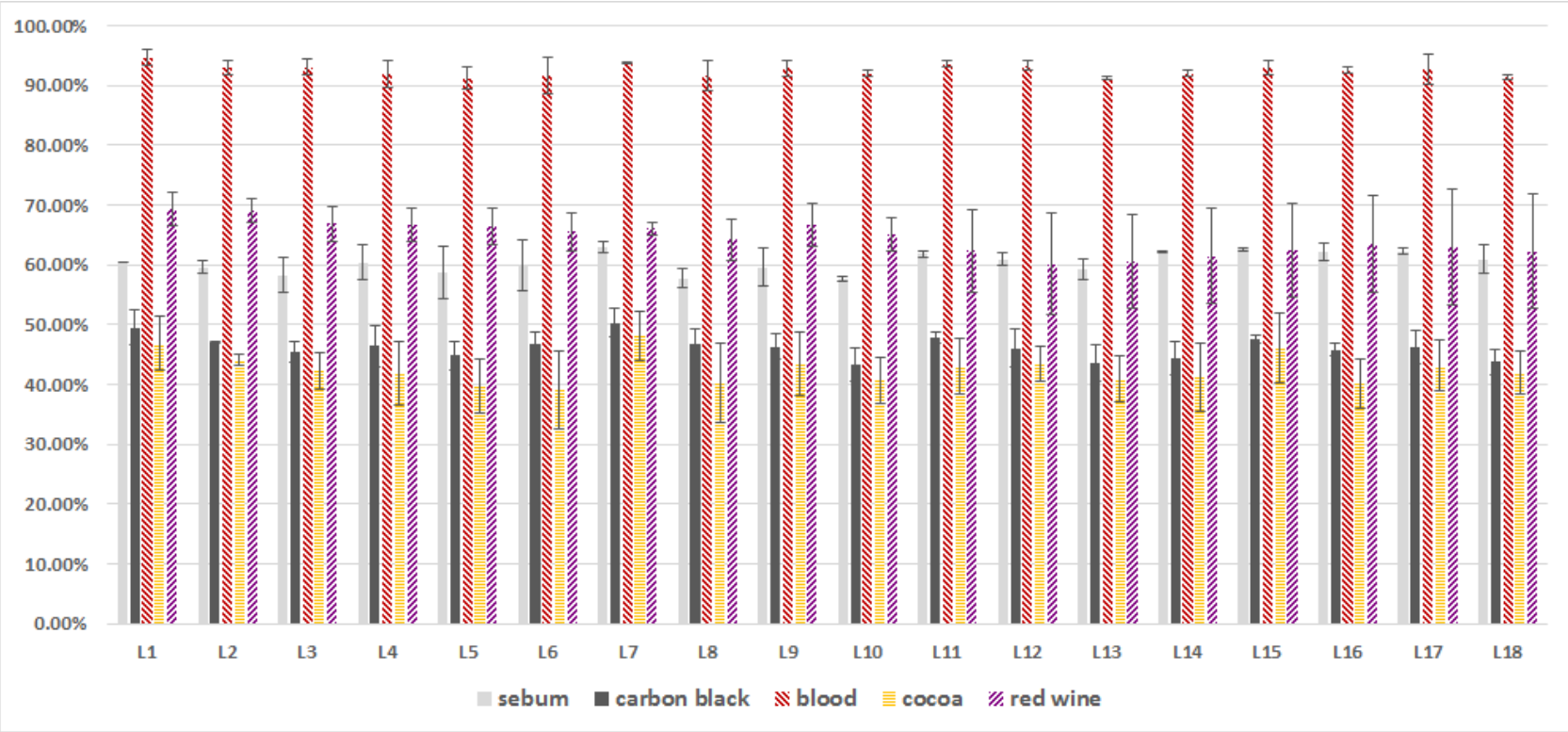


Figure 15. Detergency(%) of each soil of lifters(L1-L18).

3.2. 4가지 리프터 형상요인과 세탁물거동, 세척성의 관계

2차 리프터 18개의 리프터 형상과 세탁물거동 지수의 상관분석을 한 결과는 표 15에 나타내었다. 드럼중심으로부터의 거리(평균, 평균변화율), 드럼과 직물 간의 속도 차(평균, 표준편차, 평균변화율), 직물 면적(표준편차), shape factor(표준편차), 직물중심 총 이동거리, position factor, 직물면적 최장거리(표준편차, 평균변화율)은 리프터 형상 요인 중에서 H_b와 c에 상관관계를 갖는 것을 알 수 있었다.

드럼중심으로부터의 거리(평균, 평균변화율), 드럼과 직물 간의 속도 차(표준편차, 평균변화율), shape factor(표준편차), 직물중심 총 이동거리, 직물면적 최장거리(평균변화율)은 H_b와 부적 상관관계를 가졌다. 드럼과 직물 간의 속도 차(평균)은 H_b와 정적 상관관계를 가졌다. 직물 면적(표준편차), position factor, 직물면적 최장거리(표준편차)는 c와 정적 상관관계를 가졌다.

Table 15. Correlation between each fabric movement index and four factors of lifter shape

Fabric movement index \ Factors of lifter shape		W_m	c	H_b	H_f
Distance from the center of the drum (avg.)	Pearson correlation coefficient	-.052	-.030	-.512**	-.020
	Significance probability	.765	.862	.001	.908
	N	36	36	36	36
Distance from the center of the drum (avc.)	Pearson correlation coefficient	-.133	-.220	-.338*	.068
	Significance probability	.440	.197	.044	.693
	N	36	36	36	36
Speed difference between drum and fabric (avg.)	Pearson correlation coefficient	.078	.051	.499**	-.019
	Significance probability	.651	.770	.002	.913
	N	36	36	36	36
Speed difference between drum and fabric (std.)	Pearson correlation coefficient	.047	-.013	-.415*	-.073
	Significance probability	.785	.939	.012	.671
	N	36	36	36	36
Speed difference between drum and fabric (avc.)	Pearson correlation coefficient	-.015	-.172	-.467**	-.133
	Significance probability	.930	.315	.004	.440
	N	36	36	36	36
Fabric Area (std.)	Pearson correlation coefficient	-.155	.371*	-.380*	-.177
	Significance probability	.365	.026	.022	.300
	N	36	36	36	36
Shape factor (std.)	Pearson correlation coefficient	-.267	.301	-.587**	-.049
	Significance probability	.115	.075	.000	.777
	N	36	36	36	36
Total distance moved	Pearson correlation coefficient	-.078	-.051	-.499**	.019
	Significance probability	.651	.770	.002	.913
	N	36	36	36	36
Position factor	Pearson correlation coefficient	.156	.337*	.302	-.007
	Significance probability	.364	.044	.073	.966
	N	36	36	36	36
Longest distance of fabric area (std.)	Pearson correlation coefficient	.248	.333*	-.144	-.286
	Significance probability	.145	.047	.403	.091
	N	36	36	36	36
Longest distance of fabric area (avc.)	Pearson correlation coefficient	-.122	-.008	-.369*	-.154
	Significance probability	.480	.963	.027	.370
	N	36	36	36	36

*. The correlation coefficient is significant at the p-value level of 0.05
**. The correlation coefficient is significant at the p-value level of 0.01

2차 리프터 18개의 리프터 형상과 세척성의 상관분석을 한 결과는 표 16에 나타내었다. 세척성과 상관관계를 갖는 리프터 형상요인은 c(하부 폭 대비 상부 폭의 비율)와 H_b(뒤쪽 높이)였다. 세척성 총합과 c, H_b는 부적인 상관관계를 가졌다. 기계적인 작용에 영향을 많이 받는다고 여겨지는 sebum과 carbon black 오염포의 세척성의 합 또한 c, H_b에 부적인 상관관계를 가졌다.

Table 16. Correlation between four factors of lifter shape and detergency(%)

Detergency \ Factors of lifter shape		W_m	c	H_b	H_f
Total	Pearson correlation coefficient	-.130	-.499**	-.382*	.139
	Significance probability	.449	.002	.022	.419
	N	36	36	36	36
Sum of sebum and carbon black	Pearson correlation coefficient	-.083	-.466**	-.594**	.277
	Significance probability	.631	.004	.000	.102
	N	36	36	36	36

*. The correlation coefficient is significant at the p-value level of 0.05

**. The correlation coefficient is significant at the p-value level of 0.01

위의 분석 결과를 종합하여 보면, 4가지 리프터 형상 요인 중 c와 H_b가 세탁물거동 지수와 세척성과 상관관계를 갖는 주요한 형상 요인임을 알 수 있었다. 리프터 형상 요인과 세탁물거동 지수, 리프터 형상요인과 세척성 간에는 상관관계가 나타나지만, 세탁물거동 지수와 세척성 간에는 상관관계가 유의하게 나타나지 않았다.

상관분석 결과를 바탕으로 리프터의 형상과 세탁물거동 지수, 세척성의 관계를 보다 정확하게 설명하기 위해서 회귀분석을 실시하였다. 세척성의 총합과 리프터 형상의 회귀식은 그 설명력이 0.395로 낮았기 때문에 세척성 총합 대신에 기계적인 작용에 영향을 받는 것으로 알려진 sebum과 carbon black 오염포의 세척성을 합하여 회귀분석을 실시하였다. 단계 선택법을 통해서 선형 회귀분석을 실시하였고, 회귀식의 유의수준은 $P<0.01$이었다. R^2로 본 회귀식의 설명력은 0.648이었다.

Detergency(sum of sebum and carbon black, %)

$$= 114.760 - 0.117 \times H_b - 0.083 \times c + 0.099 \times H_f$$

$$(R^2 = 0.648) \quad ...[Eq.\ 4]$$

식 4를 통해서 sebum과 carbon black 오염포의 세척성의 합은 리프터의 뒤쪽 높이(H_b)가 작을수록, 하부 폭 대비 상부 폭의 비율(c)이 작을수록, 앞쪽 높이(H_f)가 클수록 향상됨을 알 수 있었다. 앞의 표 15에서 나온 것과 같이 c와 H_b가 세탁물거동 지수에 영향을 주었지만, 세탁물거동 지수와 세척성 사이에는 회귀식이 도출되지 않았다.

본 연구의 통계 결과와 일치하는 이상적인 형상을 가진 리프터는 없었지만 가장 유사한 형상을 가진 리프터는 L7이었고, 기존의 리프터 대비 세척성 총합이 8.6%, sebum과 carbon black 오염포의 세척성의 합은 5.1% 향상된 효과를 가졌다.

Ⅳ. 요약 및 결론

본 연구에서는 세탁의 메커니즘 중 기계적인 작용에 영향을 주는 세탁물거동이 리프터의 장착여부, 리프터의 형상 변화에 따라 어떻게 변화하는지 분석하고 세척성에 미치는 영향을 살펴보았다. 이를 통해서 리프터의 역할을 규명하고, 세척성을 향상하기 위해서 리프터의 형상을 어떻게 변화시켜야 하는지를 알아보았다. 이 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 리프터의 장착여부에 따른 세탁물거동과 세척성을 분석한 결과, 리프터를 장착한 경우에는 세탁수량이 증가하여도 세탁물의 거동이 유사하게 나타났고 세척성은 증가하였다. 반면 리프터를 장착하지 않은 경우에는 세탁수량이 증가함에 따라 직물의 움직임이 제한되었고 세척성은 감소하였다. 따라서 리프터는 직물의 움직임을 유발하고, 세탁수량에 상관없이 세척성이 일정수준 이상으로 나타나게 하는 역할을 함을 알 수 있었다.

2. 리프터의 형상 요인 7가지 앞쪽 폭(W_f), 뒤쪽 폭(W_b), 중간 폭(W_m), 하부 폭 대비 상부 폭의 비율(c), 앞쪽 높이(H_f), 뒤쪽 높이(H_b), 길이(L)를 기존의 리프터에 대비하여 50%와 200%로 변형시킨 1차 리프터 8개의 세척성을 살펴보고 회귀분석을 한 결과, 리프터 형상 요인 중에서 중간 폭(W_m), 길이(L), 하부 폭 대비 상부 폭의 비율(c)의 순서로 세척성의 총합에 영향을 주었다. 본 연구의 조건 내에서 세 가지 요인이 모두 커질수록 세척성이 향상된다는 사실을 알 수 있었다.

3. 리프터 형상 요인 7가지 중 세탁기의 설계와 민감도 분석 순위를 고려하여 선정한 4가지 주요 요인인 중간 폭(W_m), 하부 폭 대비 상부 폭의 비율(c), 뒤쪽 높이(H_b), 앞쪽 높이(H_f)를 3수준으로 변형시킨 2차 리

프터 18개의 세탁물거동과 세척성을 분석한 결과, 하부 폭 대비 상부 폭의 비율(c)와 뒤쪽 높이(H_b)가 세탁물거동과 세척성에 영향을 줌을 알 수 있었다.

4. 리프터의 뒤쪽 높이(H_b)와 하부 폭 대비 상부 폭의 비율(c)가 작을수록, 앞쪽 높이(H_f)가 클수록 세척성이 향상된다는 것을 알 수 있었다.

5. 리프터의 형상 요인은 세탁물거동과 세척성에 각각 영향을 미치지만, 세탁물거동과 세척성 사이에는 유의한 관계가 나타나지 않았다.

이상의 결과를 통하여, 리프터가 있음으로 인하여 드럼 내에서 적절한 회전과 낙차 등의 세탁물거동이 유발되고, 일정 수준 이상의 세척성을 가질 수 있음을 확인하였다. 또한 리프터의 형상 요인을 극대화하여 변형시킨 경우에는 중간 폭(W_m), 길이(L), 하부 폭 대비 상부 폭의 비율(c)와 같은 형상 요인이 커질수록 세척성이 향상되지만, 세탁기의 상용화를 고려한 범위에서 형상 요인을 변형시킨 경우에는 뒤쪽 높이(H_b)와 하부 폭 대비 상부 폭의 비율(c)가 작을수록, 앞쪽 높이(H_f)가 클수록 세척성이 향상된다는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서 통계분석 결과를 적용하였을 때 최적의 리프터는 L7이었고, 이는 기존의 리프터 대비 세척성이 각각 8.6% 향상된 효과를 가졌다.

본 연구는 세탁물거동의 관찰이 용이하면서 실제 세탁부하량과 유사한 거동이 일어나는 부하량(약 1.0kg)을 선정하여 결과를 얻었지만, 실제 세탁부하량과 다소 차이가 있다는 점에서 한계를 지닌다. 또한 세탁기에 장착하는 리프터의 개수, 재질, 거시적 형상에 따라서도 세탁물거동과 세척성이 달라질 수 있는데, 본 연구에서는 리프터의 미시적 형상 수치(사

이즈)만을 변형시켰기 때문에 추후 리프터의 개수, 재질에 따라서 세탁물거동과 세척성에 어떠한 변화가 있는지도 살펴볼 필요가 있다.

참 고 문 헌

[1] G. Jakobi and A. Lohr, "*Detergents and textile washing; Principles and practices*", Weinheim: VCH, 1987.

[2] 김성련, "*세제와 세탁의 과학*", 파주: 교문사, 2008.

[3] 김성련, 이정숙, 정혜원, 강인숙, 박정희, "*새의류관리*", 파주: 교문사, 2008.

[4] K. L. Ganguli and J. V. Eendenburg, "Mass transfer in a laboratory washing machine", *Textile Research Journal*, vol.50(7), pp.428-432, 1980.

[5] J. J. Webb and S. K. Obendorf, "Detergency study: Comparision of the distribution of natural residual soils after laundering with a variety of detergent products", *Textile Research Journal*, vol.57(11), pp.640-646, 1987.

[6] K. H. Raney, "Optimization of nonionic/anionic surfactant blends for enhanced oily soil removal", *Journal of the American Oil Chemists' Society*, vol.68(7), pp. 525-531, 1991.

[7] H. S. Oslen and P. Falholt, "The role of enzymes in modern detergency", *Journal of Surfactants and Detergents*, vol.1(4), pp. 555-567, 1998.

[8] W. P. Utermohlen, Jr,. and E. L. Wallace, "Detergency studies Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ", *Textile Research Journal*, vol.17(12), pp.670-688, 1947.

[9] W. P. Utermohlen, Jr,. E. K. Fischer, M. E. Ryan and G. H. Campbell, "Detergency studies Ⅳ: Influence of oily soil upon the removal of pigment soil", *Textile Research Journal*, vol.19(8), pp.489-496, 1949.

[10] A. Cireli, M. Sariisik, B. Kutlu and V. Yaman, "The effects of washing conditions on soil removal in domestic laundering processes", *AUTEX Research Journal*, vol.4(2), pp. 101-112, 2004.

[11] L. Cohen, A. Moreno and J. L. Berna, "Influence of calcium concentration in the washing liquor on detergency performance of linear alkylbenzene sulfonate", J*ournal of the American Oil Chemists' Society,* vol.70(1), pp. 79-82, 1993.

[12] A. Lee, M. H. Seo, S. Yang, J. Koh and H. Kim, "The effects of mechanical actions on washing efficiency", *Fibers and Polymers*, vol.9(1), pp.101-106, 2008.

[13] 이아진, "*드럼형 세탁 프로세스에서의 직물의 동역학적 거동*", 석사학위논문, 건국대학교 섬유공학과, 서울, 대한민국, 2008.

[14] C. M. Namara, A. Gabriele, C. Amador, S. Bakalis, "Dynamics of textile motion in a front-loading domestic washing machine", *Chemical Engineering Science*, vol.75(18), pp. 14-27, 2012.

[15] J. H. Woo, J. Y. Kim and C. H. Park, "Contributing ratio of mechanical and physicochemical actions to washing efficiency of mineral oil and protein soils", *Fibers and Polymers*, vol.15(3), pp. 645-652, 2014.

[16] C. Yun, C. H. Park, "The effect of fabric movement on washing performance in a front-loading washer Ⅱ: under various physical washing conditions", *Textile Research Journal*, vol.85(3), pp.251-261, 2015.

[17] C. Yun, C. H. Park, "The effect of fabric movement on washing performance in a front-loading washer Ⅲ: focused on the

optimized movement algorithm", *Textile Research Journal*, vol.86(6), pp.563-572, 2016.

[18] Y. Cho, C. Yun, C. H. Park, "The effect of fabric movement on washing performance in a front-loading washer IV: under 3.25-kg laundry load condition", *Textile Research Journal*, online-published; May/13/2016, doi: 10.1177/ 0040517516648508.

[19] 이종수, "*행정학 사전*", 서울: 대영문화사, 2009.

[20] D. B. Petitti, "Meta-analysis, decision analysis, and cost-effectiveness analysis: methods for quantitative synthesis in medicine", New York : Oxford University Press, 2000.

[21] PIAnO (Process Integration, Automation and Optimization) User's Manual, Version 2.4, FRAMAX Inc., Dec. 2008.

[22] AHAM HLW-1-2013, "*Performance Evaluation Procedures for Household Clothes Washers*", 2013.

[23] IEC 60456, "*Clothing washing machines for household use-Methods for measureing the performance*", Edition 5.0, 2010.

[24] 조윤경, "*드럼세탁기 내 직물거동분석-3.25kg 세탁부하량을 중심으로-*", 석사학위논문, 서울대학교 의류학과, 서울, 대한민국, 2015.

[25] 윤창상, "*드럼세탁기 내 직물거동과 세척성*", 박사학위논문, 서울대학교 의류학과, 서울, 대한민국, 2013.

Abstract

Fabric movement and washing efficiency as lifter shape changes in a front-load washing machine

Choi, Han Ra
Department of Textiles,
Merchandising and Fashion Design
The Graduate School
Seoul National University

The objectives of this study was to investigate how fabric movement and detergency changes by lifter shape. In washing process of front-loading washing machine, the lifter affected fabric movement and detergency by lifting up the fabric and making it falling. Therefore, in this study the fabric movement and detergency were examined with or without lifters. Then, seven factors of lifter shape, back width(W_b), front width(W_f), middle width(W_m), ratio between top and bottom width(c), back height(H_b), front height(H_f),

length(L), were changed to find out the most affective factors of lifter shape. The most affective factors were middle width(W_m), ratio between top and bottom width(c), back height(H_b), front height(H_f) according to sensitivity test. Then, the four factors of lifter shape were changed to find out how fabric movement and detergency changes by lifter shape.

The fabric movement with reference lifter(the original lifter attached in front-loading washing machine) was similar in three experimental conditions which used different amount of water. The detergency increased as the amount of water were increased. On the other hand the fabric movement without lifter was different and the detergency decreased deeply as the amount of water increased. The movement of fabric was limited to sliding as the amount of water increased. Therefore, it is clear that lifter made the fabric movement diverse regardless of the amount of water used. Also, lifter is the key facts which maintained the detergency above certain level.

When the seven factors of lifter shape were varied to 50% or 200% to reference lifter, the detergency was increased in primary lifters except one with every factor at 50% size. From the regression equation of detergency and result of sensitivity test, the most affective factors of lifter shape were middle with, length and ratio between top and bottom width. Detergency was expected to increase as the three factors were increased. With limitation of inner drum deepness, the length of lifter was excluded from the most affective

factors. Then, front width and back width were also excluded because they had the lowest sensitivity to detergency.

Middle width(W_m), ratio between top and bottom width(c), back height(H_b), front height(H_f) were varied within practical use. From the result of correlation analysis, back height and ratio between top and bottom width affected fabric movement and detergency. As back height and ratio between top and bottom width were decreased, and front height was increased, detergency was increased.

From the result above, it was examined that lifter induced the fabric movement and maintained detergency above certain level. In case of changing seven factors of lifter shape, as middle with(W_m), length(L) and ratio between top and bottom width(c) increased, detergency increased as well. In case of changing four factors of lifter shape practically, as back height(H_b) and ratio between top and bottom width(c) decreased, and front height(H_f) increased, detergency increased. The lifter with ideal shape had 8.6% higher detergency than reference lifter.

keywords : lifter, factors of lifter shape, fabric movement, detergency, front-loading washing machine
Student Number : 2014-22899