

스팀분사 세탁시스템의 세탁효율 분석

서문호 · 이아진 · 정수현 · 양승도¹ · 김형섭 · 고준석*

건국대학교 공과대학 섬유공학과, ¹한국의류시험연구원

Washing Efficiency of Steam Jet Washing Process

Moon Hwo Seo, Ahjin Lee, Soohyun Jung, Seungdo Yang¹,
Hyungsup Kim, and Joonseok Koh*

Dept. of Textile Engineering, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea

¹Korea Apparel Testing & Research Institute, Seoul 130-864, Korea

(Received November 7, 2006/Accepted December 8, 2006)

Abstract — The washing characteristics of steam jet heating process have been compared with other washing processes, such as low temperature process(standard process, below 40 °C) and high temperature process(boiling process, up to 95 °C) with the standard soil fabric, EPMA 105. Steam jet heating process showed almost the same washing efficiency as high maximum temperature process for pig's blood and wine. This result can be explained with the higher surface temperature of washing materials in steam jet process compared with direct boiling process. In terms of the energy and water consumption, the steam jet washing process showed significant savings compared with direct boiling type washing process.

Keywords: *steam jet, washing process, boiling process, standard soil fabrics, washing efficiency*

1. 서 론

19세기 말에 발명된 가정용 세탁기의 발달과 여성의 사회참여의 정도가 밀접한 관련이 있다는 가설은 이미 하나의 중요한 사실로 인정되고 있다. 이러한 배경을 가진 세탁기는 21세기 초인 현재까지 그 성능에 대한 연구 개발에 대한 노력은 계속되고 있다. 연구개발의 가장 기본 방향은 세탁효율성과 에너지 효율성에 대한 것이 제일 큰 부분을 차지한다. 최근에는 세탁의 부수적인 효과인 살균, 환경 요소 등의 특수 기능에 대한 연구도 활발하게 전개되고 있다.

세탁이란 의복을 구성하는 천이나 부속물에 부착되어 있는 원하지 않는 물질, 즉 오염 물질(Soil, 오구(汚垢))을 제거하는 작용을 말한다. 세탁의 제거 대상이 되는 오염 물질의 종류는 매우 다양하여 세탁기 세탁에 관한 연구는 한계성을 갖게 된다.

오염 물질의 다양함에서 오는 문제점을 섬유 물질과 오염물질의 부착된 기구를 기준하여 해석해 보면 훨씬 간단해 진다. 부착 상태의 일반적인 분류로는 크게 네 가지 상태로 나눌 수 있다. 그 첫 번째가 액체상이나 고체상 오염물질이 천의 표면을 일부 통과한 상태에서 건조되거나 고화하여 오염물질 자체가 섬유나 실들 사이에 물리적으로 끼인 상태로 고정되어 있는 경우이다. 두 번째의 경우는 표면과 오염 물질사이의 인력에 의한 결합상태이다.

그 하나가 정전기력에 의한 부착이며 다른 하나는 반데르발스 힘에 의한 부착이다. 이 두 경우는 모두 오염 물질 입자 비표면적이 커야 하며 그 절대적 크기가 충분히 작아야 한다. 세 번째는 오염물질이 섬유내부로 확산된 상태이다. 예를 들어 친유성 오염 물질이 소수성 합성섬유와 접촉한 경우나 섬유와 친화성 염료물질의 섬유내부로의 확산상태를 들 수 있다. 네 번째는 오염물질과 섬유물질이 화학적으로 결합한 경우가 있다.

오염 물질이 천과 결합한 특성이 위와 같이 다양

*Corresponding author. Tel.: +82-2-450-3527; Fax : +82-2-458-4131; e-mail: ccdjko@konkuk.ac.kr

하므로 세탁이 이루어지려면 각 물질에 적절한 작용이 필요하다. 그러나 일상생활에서 만나게 되는 오염물질은 여러 가지 오염물질의 혼합체로서 위에서 열거한 네 가지의 부착 상태를 전부 또는 일부를 포함하는 것이 일반적이므로 세탁에 대한 연구는 물질의 종류를 단순화 시켜서 수행한 경우가 많다¹⁴⁾. 그러나 현실적인 문제로 세탁기에 의한 세탁은 오염된 일상의 의류에 대한 작업이기 때문에 IEC 등의 표준화된 비교 세탁시험에서는 오염물질을 4개의 대표그룹으로 나누어 세탁기의 성능에 대한 해석을 하고 있다.

세탁과정은 오구의 분리를 쉽게 해 주는 물질을 녹인 세탁 액체에 세탁물을 넣은 상태에서 다양한 기계적 동작을 부여하여 세탁하는 것이 일반적으로 알려져 있다. 최근에는 기존의 세탁 시스템에 여러 가지 변화를 주어 세탁효율을 향상시키고자 하는 연구들이 기업들에 의해 활발히 진행되어 오고 있으며 이러한 개발 동향 중 하나로 스팀젯 세탁 방식을 채용한 세탁기가 선을 보이고 있다. 이 시스템은 세탁물을 상부에서 직접 가열하므로 세탁액을 가열하는 시스템에 비해 세탁물의 온도를 빠른 시간에 상승시켜 고온(삶음) 세탁 공정에 비해 작은 에너지로서 세탁 효율을 극대화할 수 있을 것으로 기대하고 있다. 이에 본 연구에서는 프론트 로딩 구조를 가지고 있는 드럼형 세탁기에 세탁액 및 세탁물의 가열 메커니즘으로 스팀젯을 사용하는 시스템의 특성에 관해 고찰하고자 한다. 이 시스템은 기존의 세탁시스템과는 가열방식이 다르므로 세탁시스템 내의 온도 분포가 기존의 경우와는 다를 것이며 스팀 압력에 따른 유동 효과가 있을 것으로 예측된다. 본 연구에서는 스팀 분사 드럼세탁 시스템의 특성을 기존 직접승온 방식과 비교 분석함으로써 이 시스템의 공학적인 특성을 해석하고자 한다.

2. 실 험

세탁시스템에 포함된 세탁작용은 여러 가지 다양한 인자를 포함하고 있어서 한 시스템에 대한 독립적인 특성 규명은 시스템이 가진 고유한 특성을 들어내기에는 부적절하다. 따라서 본 연구에서는 동일한 조건들, 예를 들어 세탁물의 특성과 세제 물 사이의 물질 특성과 액비와 온도 등 환경 요소와 세탁기가 제공하는 기계적인 요소들을 최대한 동일하게 한 후 일반적인 시스템인 저온(표준) 시스템 및 고온(삶음) 시스템의 세탁 결과를 비교하도록 실험을 설계하였다.

2.1 시료 및 시약

세탁 시험은 표준 하중의 직물과 표준 오염포를 투입하고 세제 조합을 사용하여 시험하였다. 세제는 IEC 60456-2003에 규정된 표준세제 조합 A*(detergent A*)를 사용하였다. 표준 오염포는 일반 세탁물의 오염물질과 동일 혹은 유사한 성분으로 구성되어 있으면서 반사율이 낮은 네 가지 물질로 구성되어 있다. 본 연구에 사용한 오염포는 4가지의 특성 오염물질, 즉 카본블랙/미네랄오일(carbon black/mineral oil), 돼지 피(pig's blood), 초콜릿/우유(chocolate/milk), 적포도주(red wine)를 특정 규격의 면포에 각각 오염시킨 포를 연이어 봉제한, 표준 오염포 EMPA 105를 사용하였다. 이 표준 오염포는 짙은 색상을 가지고 있어서 오염물질의 탈락률 반사율 변화로 측정할 수 있다. 그러나 이 오염포의 이름이 나타내고 있듯이 표준 오염포는 외부 오염물질을 4종류의 대표그룹으로 나눈 것으로 각 그룹은 다양한 물질의 혼합체로 되어 있다. 표준 오염포의 기포는 면직물이며 오염물질의 구성은 다음과 같다.

- 카본블랙/미네랄오일 : 평균 입자크기는 295 Å이며 입자의 평균 표면적이 $94 m^2/g$ 이며 탄소함량이 96% 이상 되는 카본블랙을 비중이 0.885, 용점이 $-26^\circ C$ 인 파라핀 오일에 섞은 것
- 돼지 피 : 신선한 돼지 피로서 시트린산 암모늄염을 10 g/l 첨가하여 안정화시킨 신선한 돼지 피.
- 초콜릿/우유 : 설탕, 크림화 시킨 암소 우유 및 물에 섞은 가당하지 않은 코코아.
- 적포도주 : 알리칸테(Alicante) 적포도주.

2.2 시험용 세탁 장치

세 가지 세탁 공정을 적절히 비교시험 하기 위해서는 공정의 특성이외에는 모든 다른 조건이 서로 같은 세탁기를 사용하는 것이 적절하다. 따라서 본 실험에서는 동일한 세탁기를 사용하여 실험하였다. 동일한 기계로 저온(표준) 공정과 고온(삶음) 공정 및 스팀젯 공정이 가능한 프론트 로딩형 드럼 세탁기(WD-CR200, LG 전자)를 사용하였다. 실험에 사용한 드럼 세탁 시스템의 기본 구조는 Fig. 1과 같다. 이 시험 장치는 세탁물을 드럼 하부에 투입하고 물을 적정 온도까지 가열하면서 세제와 함께 공급한다. 삶음 프로세스의 경우는 투입된 물의 온도를 주기적으로 감지하여 원하는 온도만큼 올리는 기본적인 원리이며 스팀 프로세스는 장치의 상부에 스팀

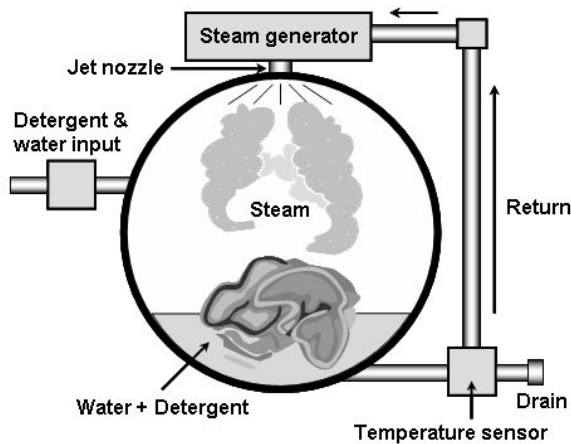


Fig. 1. Schematic diagram of testing steam drum laundering system.

발생장치를 부착하여 주기적으로 스팀을 분사한다. 세탁 공정 중의 세탁액 온도데이터는 써미스터로 세탁물의 표면온도는 적외선 온도 카메라를 사용하여 측정하였으며 기기의 에너지 사용량은 적산 전력계를 부착하여 측정하였다.

2.3 세탁 및 세탁효율 평가

오염물질이 제거된 정도의 절대적인 평가는 원 시료에 묻은 오염물질을 완전히 분리하여야 하므로 동일한 시료를 가지고서는 거의 불가능하다. 이 연구에서 사용한 방법은 IEC 규격에 따라 세탁 전·후 오염포의 반사율을 변화를 측정하여 사용하였다. 정확한 오염 평가를 위하여 식 (1) 을 오염포의 세탁효율로 정의하여 사용하였다.

$$\gamma_{washing}(\%) = \frac{(R_f - R_{fo})}{(R_{fmax} - R_{fo})} \times 100 \quad (1)$$

where, $\gamma_{washing}(\%)$: washing efficiency(%)

- R_f : reflectance of washed specimen
- R_{fo} : reflectance of soiled specimen
- R_{fmax} : reflectance of unsoiled specimen

반사율의 측정을 위해 Minolta사의 Colorimeter (Minolta-CR200)을 사용하였다. 모든 조건의 비교 시험 시 각 공정별로 6매씩의 표준 오염포를 투입하여 세탁처리 후 표준 오염포의 세탁정도를 분석하였다. 모든 오염포 시료의 결과 측정은 각 오염물질로 오염된 오염포의 네 주변부의 반사율을 측정 한 결과의 평균치를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 세탁기 내의 세탁액의 온도 변화

먼저 스팀 공정의 세탁 성능을 저온(표준) 공정과 고온(삶음) 공정의 세탁성능과 비교하였다. 기계시스템의 차이가 공정 특성 차이를 간섭하지 않도록 하기 위해 동일한 기계로서 세 가지 서로 다른 조건의 세탁시험을 수행하였다. 실제 운전 중의 세탁액의 온도는 가열 방법에 따라 온도 증가 패턴이 달라진다. 각 공정별 걸린 시간은 저온(표준) 공정은 32분, 고온(삶음) 공정은 80 분인데 비해 스팀 공정은 54분이다. 각 공정의 운전 프로그램에 따른 세탁액의 온도의 상승 프로파일을 Fig. 2에 나타내었다.

저온(표준) 공정과 고온(삶음) 공정의 경우는 세탁액을 가열하여 내부 온도 센서가 프로그램 수준에 도달하도록 설계된 프로그램이다. 저온(표준) 공정은 내부 센서의 온도가 40℃가 되면 이 온도를 일정기간 유지한 후, 세탁을 끝내고 수세과정을 거친다. 본 실험에서는 세 번의 탈수 행균 과정을 거치도록 하였다. 고온(삶음) 공정의 경우는 동일한 승온 속도로 계속 가열하여 내부 온도가 95℃에 도달하면 탈수 수세과정을 진행하도록 설계된 프로그램이다. 이 두 경우는 세탁액의 온도를 제어하는 시스템이므로 온도 제어 프로그램의 진행과 세탁액 온도 상승이 순조롭다. 이에 비해 스팀 공정의 경우는 세탁액의 일부를 가열하여 일정한 주기를 가지고 스팀젯 상태로 세탁물 위로 분사하는 시스템으로 스팀 분사 시 세탁액의 일부를 액체상으로 동시에 분사하는 시스템이다. 표준공정과 고온(삶음) 공정은 매끄러운 온도상승곡선을 보이나 스팀 공정은 세탁액의 초기 온도상승속도가 낮으며 상승

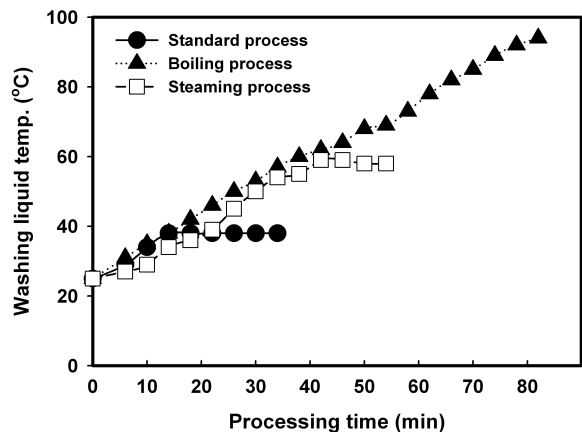


Fig. 2. Washing liquid temperature changes of 3 washing processes.

패턴도 비교적 불규칙하게 보인다. 이는 스팀공정의 경우 스팀젯이 분사 주기가 있으므로 연속으로 세탁액 가열 시스템을 사용하는 저온(표준) 공정과 고온(삶음) 공정보다 온도제어의 정확도가 떨어지기 때문인 것으로 판단된다.

3.2 세탁 공정별 세탁효율

세 공정의 세탁효율을 비교 측정하기 위하여 최대 부하 10kg인 세탁기에 6kg 부하의 세탁물을 투입하여 시험하였다. 여기에 투입된 표준 오염포는 6세트이다. 1세트의 표준 오염포에서 각 오염포 당 4회의 반사율 측정을 실시하였으므로 한 공정에서 오염물질에 따른 오염포에 대해 24회의 반사율 측정값이 얻어진다. Table 1의 결과는 이 실험에서 얻어진 세 세탁 공정을 거친 오염포의 반사율과 표준편차로 환산한 변동계수 값(CV, %)들과 이 값들을 식 (1)에 대입하여 환산한 세탁효율(%)이다. 변동계수는 세탁의 균일도를 나타낼 수 있는 지표가 될 수 있다.

사용한 표준 오염포 중에서 초기 반사율이 가장 낮은 것이 돼지 피 오염포이며 세 공정 실험에 사용한 시료들의 평균값들은 18.2-18.4의 범위를 보였다. 그 다음이 카본블랙/미네랄오일 오염포로서 25.4-25.7의 범위, 초콜릿/우유 오염포가 그 다음으로서 평균값이 36.1-36.4의 범위를 보였으며 제일 반사율이 높은 적포도주 오염포의 경우 평균값이 46.7-47.3의 값을 보였으므로 세 공정에 투입된 표준 오염포는 동일한 오염포로 간주할 수 있다. 세탁후의 네가지 오염물질의 반사율 값을 분석해보면 다음과 같다. 돼지 피 오염포의 경우는 고온(삶음) 공정은 85.8, 스팀 공정은 85.6로 거의 같은 수준으로 큰 값을 보이며 환산한 세탁효율은 각

각 94.2%와 93.8%이다. 세탁에 의해 반사율의 평균값은 증가하는데 비해서 변동계수의 크기는 저온(표준) 공정에서 시험 전 1.97%에서 시험 후 3.08%로 증가하나, 스팀공정에서는 1.28%에서 1.03%로 고온(삶음) 공정에서는 2.12%에서 0.91%로 데이터의 변동 폭이 작아진다. 즉 돼지 피의 경우 스팀공정과 고온(삶음) 공정에서는 오염농도가 높은 부분의 오염물이 더 많이 제거되어 전체적인 반사율의 변동계수가 낮아진 것으로 해석될 수 있다. 이에 비해 저온(표준) 공정의 경우는 세탁 후의 반사율 값이 79.8로 고온 및 스팀공정보다 상대적으로 낮다.

그러나 변동계수 값은 초기보다 큰 값을 보이고 있다. 이러한 결과는 저온(표준) 공정에서 세탁은 전체적으로 비슷하게 이루어지나 오염정도가 낮은 부분에서 세탁에 의한 반사율의 증가가 상대적으로 커서 발생하는 결과이다. 돼지 피 성분의 세탁과정은 오염물의 분리과정이 충분한 평형에 달하지 않아서 세탁효율도 낮을 뿐만 아니라 상대적으로 불균일하게 세탁되고 있음을 알 수 있다. 저온(표준) 공정의 이러한 결과는 선행 연구의 돼지 피 오염포의 세탁특성 연구 결과에서 돼지 피의 단위시간당 세탁속도가 55℃ 정도에서 충분히 발현된다는 점을 감안하면 저온(표준) 공정의 세탁온도 40℃는 돼지 피 오염포의 세탁의 적정 온도보다 낮아서 세탁 가능 깊이가 충분하지 않기 때문에 얻어지는 결과로 해석할 수 있다⁵⁾.

적포도주의 경우도 돼지 피와 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 반사율이 고온(삶음)의 경우 86.0, 스팀의 경우 85.2로 높은 값을 보이나 저온(표준)의 경우, 75.5로 앞의 두 공정보다 상대적으로 낮은 값을 보인다. 이들을 세탁효율로 환산한 값이 고온(삶음)

Table 1. Reflective Index, CV(%), and washing efficiency of the 3 washing processes

Process	Standard soil fabrics	Reflective Index						Washing Efficiency (%)
		Before (B)	CV(%) (C)	After (A)	CV(%) (D)	B-A	D/C	
Standard	Carbon black / mineral oil	25.7	0.86	44.0	4.20	18.3	4.88	28.5
	Chocolate / milk	36.3	0.54	64.7	1.52	28.4	2.81	52.9
	Pig's blood	18.4	1.97	79.8	3.08	61.4	1.56	85.7
	Red wine	47.3	0.31	75.5	0.34	28.2	1.10	66.0
Steam	Carbon black / mineral oil	25.6	1.01	54.2	3.35	28.6	3.32	44.4
	Chocolate / milk	36.4	0.44	72.0	1.62	35.6	3.74	66.4
	Pig's blood	18.4	1.28	85.6	1.03	67.2	0.80	93.8
	Red wine	47.3	0.25	85.2	0.38	37.9	1.52	88.8
Boil	Carbon black / mineral oil	25.4	1.09	60.2	1.87	34.8	1.72	53.9
	Chocolate / milk	36.1	2.45	71.4	1.64	35.3	0.67	65.5
	Pig's blood	18.2	2.12	85.8	0.91	67.6	0.43	94.2
	Red wine	46.7	0.23	86.0	0.27	39.3	1.17	90.8

의 경우 90.8%이고 스팀 공정의 경우 88.8%로 조금 낮고 저온(표준) 공정은 66.0%로 가장 낮다 변동계수의 경우는 세 공정이 모두 세탁 전후 값이 서로 비슷하게 아주 낮은 값을 보이고 있다. 이 현상은 적포도주 오염포의 오염물 자체가 오염포에 고르게 묻혀 있으며 운전 중의 온도차이가 각 오염포의 국부적인 세탁성 차이를 유발하지 않음을 말한다. 즉 돼지 피에서 저온(표준) 공정에서 불균일도를 유발하는 인자가 적포도주에서는 불균일도를 유발하지 않음을 알 수 있다. 이 현상은 적포도주의 경우 저온에서의 세탁효율이 상대적으로 커서 낮은 온도에서부터 점진적인 세탁이 이루어지므로 낮은 변동계수 값을 보이는 것으로 해석할 수 있다⁹⁾.

초콜릿/우유와 카본블랙/미네랄오일 오염포의 경우는 돼지 피와 적포도주 오염포에 비해 상대적으로 세탁효율이 낮다. 초콜릿/우유의 오염포의 경우를 보면 세탁 전 36.1이던 오염포가 고온(삶음) 공정을 거친 후 71.4의 반사율을 보이고 스팀 공정의 경우는 36.4에서 72.0로 변한다. 이 값을 세탁효율로 환산하면 고온(삶음)에서 65.5%, 스팀에서 66.4%로 비슷한 값을 보이나 저온(표준) 공정의 경우는 세탁 전 36.3이던 반사율이 세탁 후 64.7로 다른 두 공정보다 낮으며 52.9%의 세탁효율을 보인다. 반사율의 변동계수를 비교해 보면 고온(삶음) 공정일 때는 세탁 전에 비해 0.67배로 작아지나 스팀의 경우 3.74배로 커지고 저온(표준)의 경우는 2.81배 커진다. 이러한 경향은 전 공정에 소요된 세탁시간의 길이와 반대의 경향을 보인다. 선행 연구의 결과에 의하면 초콜릿/우유의 세탁 거동이 제거 동작에 크게 의존하므로 이 제거동작 시간이 길어질수록 균일도가 커지게 되므로 위의 결과의 해석이 가능하다⁹⁾.

카본블랙 오염포는 네 가지 오염포 중에서 세 공정 모두에서 세탁효율이 가장 낮다. 고온(삶음) 공정을 거치면 세탁 전에 25.4이던 반사율이 60.2로 증가하며 세탁효율은 53.9%가 된다 이에 비해 스팀공정은 세탁 전에 25.6이던 반사율이 54.2로 증가하며 세탁효율은 고온(삶음)보다 상대적으로 낮은 44.4%이다. 저온(표준) 공정은 반사율의 변화가 25.7에서 44.0로 세탁효율이 28.5%로 가장 낮다. 이에 비해 반사율의 변동계수는 고온(삶음) 공정 스팀 공정, 저온(표준) 공정의 순으로 증가 한다. 선행연구의 결과에 의하면 카본블랙/미네랄오일의 세탁 속도가 가장 작으며 세탁거동은 제거동작에 크게 의존하므로 세탁시간 길이에 따라 세탁효율이 더 커지는 현상이 설명가능하다⁹⁾.

세 공정의 가장 큰 차이는 세탁 시간과 운전 온도이다. 위의 세 공정의 세탁 특성을 분석하는 효율적인 방법의 하나는 동일한 표준 오염포에 대한 세탁시간과 세탁온도조건이 세탁효율에 미치는 영향을 비교해 보는 것이다.

세탁 온도의 증가는 오염물을 세탁이 가능한 상태로 변화시키는 속도를 크게 할 뿐만 아니라 세탁액에 확산되어 들어가는 속도도 증가시키게 된다. Fig. 3는 세 세탁 공정의 온도와 세탁효율의 관계를 나타낸 결과이다. 저온(표준) 공정의 최대온도인 38℃에서 스팀공정의 최대 온도인 58℃까지는 각 오염포의 세탁효율은 증가한다. 하지만 그 온도 이상의 공정에서는 카본블랙/미네랄오일을 제외하고는 세탁효율의 증가를 볼 수 없다. 여기서 58℃로 표기된 부분은 스팀 공정의 세탁액 온도이다. 스팀 공정의 가열모드는 고온의 스팀을 세탁물에 직접 분사하는 방식이므로 세탁물의 실제 온도와는 다를 수 있다. 저온(표준) 공정과 고온(삶음) 공정만을 비교해 보면 고온(삶음) 공정의 세탁효율이 언제나 높다. 오염포의 세탁 효율은 일관성 있게 돼지 피가 언제나 가장 높고 그 다음이 적포도주이며 이 두 종류는 서로 비슷한 효율을 보인다. 그 다음은 초콜릿/우유로서 위의 두 오염포와 큰 차이를 보이며 여기에 다시 큰 차이를 보이며 카본블랙/미네랄오일이 제일 낮은 세탁효율을 보인다. 카본블랙/미네랄오일이 다른 오염포와 다른 특징은 스팀 공정의 세탁 효율 값이 고온(삶음) 공정보다 많은 차이가 난다는 점이다.

Fig. 4는 세탁 과정의 온도차를 감안하지 않고 단순히 세탁 사이클의 시간과 4가지 표준 오염포의 세탁 효율관계를 나타낸 결과이다.

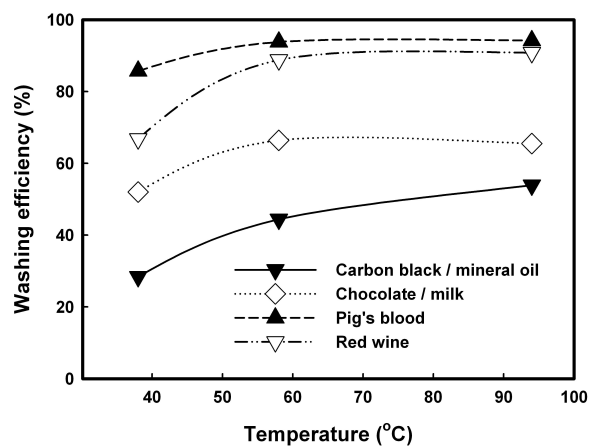


Fig. 3. Washing efficiency(%) vs. washing temperature (°C) of 4 standard soil fabrics in three different washing process.

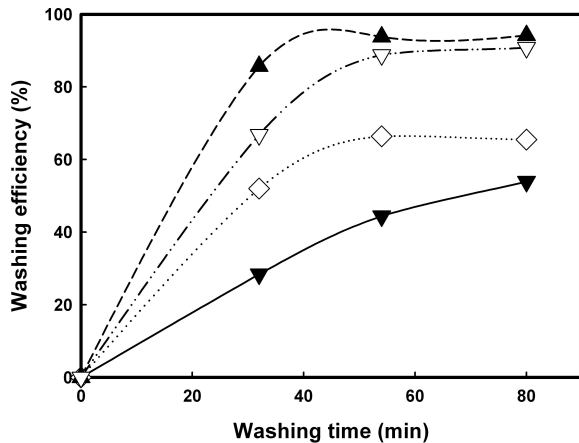


Fig. 4. Maximum washing efficiency(%) vs. washing time of 4 standard soil fabrics in three different washing process(for key see Fig. 3).

만약 세탁 현상이 온도나 그 밖의 서로 다른 인자의 영향이 없이 단순히 세탁기기 작동시간에만 의존한다면 세탁효율은 세탁시간에 비례해야 하므로 선형관계를 벗어난 정도에 따라 온도와 기타 다른 인자의 영향 정도를 판단할 수 있다. 이 결과의 선형성에 대한 상관계수, R^2 값을 구해보면 카본블랙/미네랄오일만이 0.9581로 어느 정도 유의하나 초콜릿/우유는 0.7416, 적포도주는 0.7968, 그리고 돼지 피는 0.6425로서 통계적으로 선형관계에 대한 유의성이 아주 낮다. 이 결과는 카본블랙/미네랄오일을 제외하고는 세탁 동작보다 세탁온도의 효과가 더 큰 것으로 해석할 수 있다.

3.3 세탁효율 변동계수(CV, coefficient of variation) 분석

반사율의 변동계수는 세탁특성의 균일도를 나타내는 지표로 볼 수 있다. 본 실험의 결과를 보면 저온(표준) 공정의 경우는 전 경우에서 변동계수가 세탁 후에 커지나 그 정도는 카본블랙의 경우는 4.88 배로 증가하며 돼지 피와 초콜릿/우유는 2.81 배, 1.56 배로 증가한다. 적포도주의 경우는 세탁전과 비슷한 1.10 배를 보이고 있다. 스팀 공정의 경우, 카본블랙/미네랄오일의 변동계수와 초콜릿/우유의 변동계수는 3.32 배와 3.74 배로 증가하고 적포도주는 1.52 배 증가하나 돼지 피의 경우는 0.80 배로 감소한다. 고온(삶음) 공정의 경우, 카본블랙/미네랄오일은 1.72 배, 적포도주는 1.17 배로 증가하나 돼지 피의 경우는 0.43 배, 초콜릿/우유는 0.67 배로 감소한다. 카본블랙/미네랄오일은 세 공정에서 모두 정도는 다르나 변동계수가 증가한다. 초콜릿/우유는 고

온(삶음) 공정에서만 감소하는데 비해 돼지 피는 스팀 공정과 고온(삶음) 공정에서 저온(표준) 공정보다 변동계수가 현저히 감소한다. 카본블랙/미네랄오일의 경우도 그 변화 정도는 차이가 있으나 저온(표준) 공정보다 스팀 공정에서 변동계수가 작고 고온(삶음) 공정에서 가장 작다. 이러한 차이를 주는 원인으로 해석할 수 있는 것은 공정 온도 차이가 그 원인의 하나일 것이다. 이에 비해 스팀공정에서 초콜릿/우유와 적포도주의 경우는 저온(표준) 공정에 비해 작지 않으며 공정 온도에 영향이 없으므로 판정된다. 특히 초콜릿/우유의 변동계수 증가는 적포도주에 비해 아주 큰 점이 주의할 만하다. 이렇게 특히 스팀 공정에서 초콜릿/우유와 적포도주의 변동계수 증가가 공정 온도의 영향에 무관하게 초기 값보다 커지는 것은 이 공정이 가진 세탁작용의 특성의 영향으로 해석할 수 있다.

3.4 세탁 시간에 따른 세탁 거동 분석

세탁 공정의 진행 과정을 분석하기 위하여 세탁 공정 진행 중 공정 전에 투입한 6세트의 표준 오염포 중 일정시간이 지난 후 1세트씩 채취하여 오염포의 반사율을 측정하였다. 이러한 방법으로 측정된 시료의 반사율 데이터에는 오염포 세트별 차이에 의한 문제가 있을 수 있으나 이전 세탁 공정별 세탁효율 실험에서 보인 6세트의 오염포 사이 평균의 분산 크기가 동일한 시험포 내부 분산의 크기보다 훨씬 작아서 세탁과정 비교 시험결과로는 충분한 유의성이 있다. Fig. 5a, 5b, 5c 그리고 5d는 반사율을 기준으로 환산한 세탁 시간별 세탁효율 변화 추이이다.

Fig. 5a는 카본블랙 오염포의 세탁 효율 곡선이다. 세 공정에서 초기의 세탁 효율 거동은 거의 동일한 곡선을 이루며 모든 데이터들을 한 개의 경향선으로 나타낼 수 있을 만큼 그 경향이 서로 유사하다. 전체적으로는 시간에 따라 거의 선형성에 가까운 경향을 보이며 세탁효율이 증가하고 있다. 세부적인 면을 분석해보면 공정에 따라 약간의 차이가 있다. 저온(표준) 공정의 경우 공정 시간이 27분 정도를 넘으면 다른 두 공정보다 약간 낮은 세탁효율을 보인다. Fig. 2의 공정 세탁 액의 온도를 보면 17분 정도까지는 고온(삶음) 공정과 저온(표준) 공정의 온도는 동일하나 이후에는 고온(삶음) 공정은 세탁액의 온도가 계속 증가하는 반면 저온(표준) 공정은 이 온도를 그대로 유지하므로 세탁효율이 작아지는 것으로 해석할 수 있다. 스팀 공정의 경우는

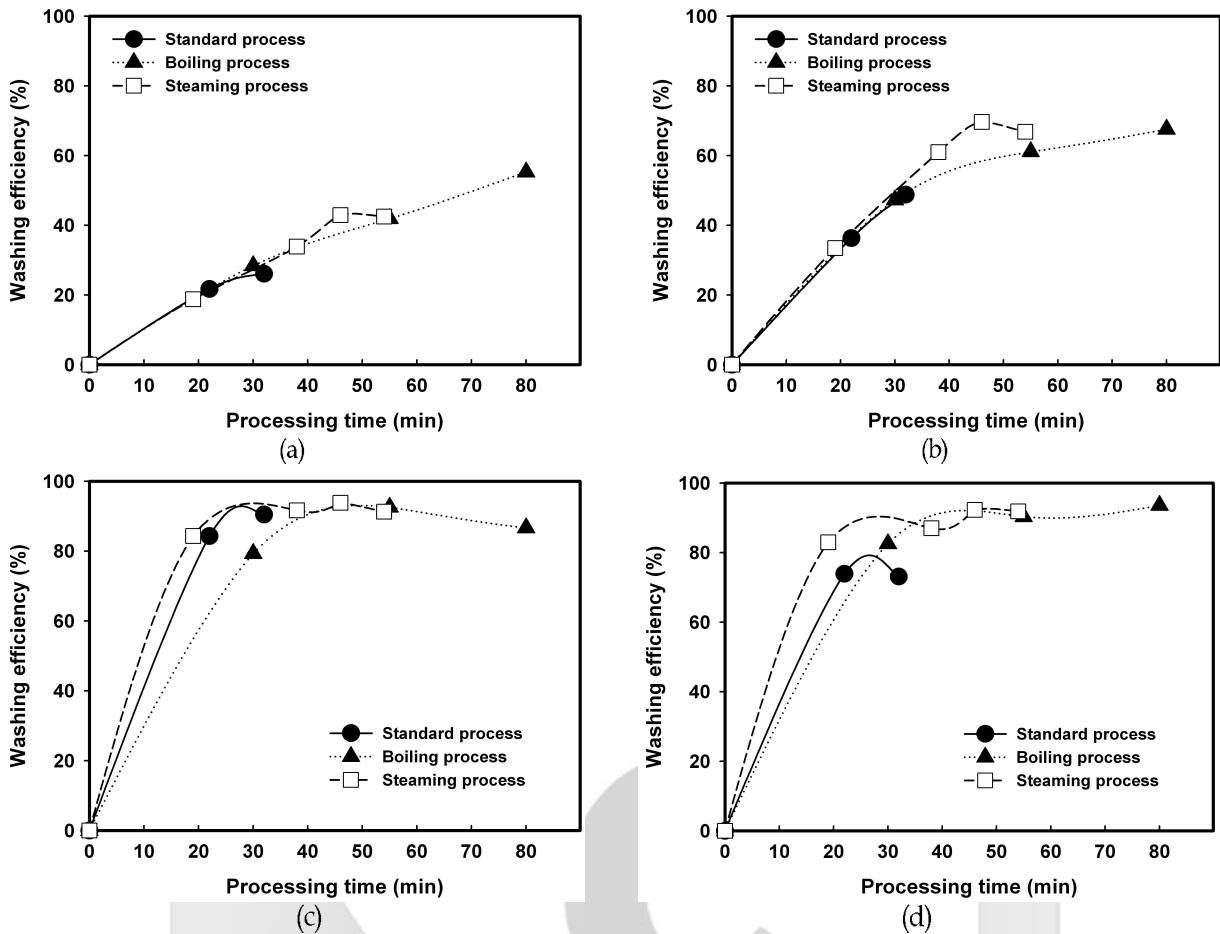


Fig. 5. Washing Efficiency(%) of standard soil fabrics vs processing time for the 3 washing processes. (a) Carbon black (b) Chocolate (c) Pig's blood (d) Red wine

온도 상승속도가 다른 두 공정보다 늦고 42분정도에서 세탁액의 온도가 60℃ 부근이 되면 온도 상승 없이 이 온도를 유지하므로 전 과정에서 고온(삶음) 공정보다 낮은 세탁액의 온도를 유지한다. 따라서 세탁 시간 45분에서 측정한 세탁효율이 고온(삶음) 공정보다 큰 값을 보인다는 점은 세탁액 온도만이 아닌 다른 인자를 포함한다는 해석이 필요하다. 그러나 최대 세탁효율은 세탁시간이 긴 고온(삶음) 공정이 높다.

Fig. 5b의 초콜릿/우유의 경우에는 스팀 공정의 결과와 고온(삶음) 및 저온(표준) 공정의 결과로 나눌 수 있다. 공정 초기에는 고온(삶음) 공정 및 저온(표준) 공정의 경향이 거의 동일하나 30분이 지나면서 스팀 공정의 세탁효율이 고온(삶음) 공정 및 저온(표준) 공정을 훨씬 능가하여 45분에 그 최대치를 보이며 고온(삶음) 공정의 경우는 80분이 되어야 스팀과 비슷한 최대값을 보인다. 특히 30분 이후의 세탁효율 상승속도가 스팀 공정이 다른 공정보다 현저히 큼을 알 수 있다. Fig. 2의 승온 프로파일을 고

려하면 온도조건이 낮은 스팀 공정의 세탁효율 증가속도가 세탁온도조건이 높은 고온(삶음) 공정보다 크다는 점이 두드러진다. 스팀 공정은 전체적으로 선형으로 볼 수 있을 정도의 세탁효율 증가경향을 보이다가 최대치 이후 약간 작아지는 경향이 있으나 고온(삶음)의 경우는 초기 30분까지는 비슷한 경향을 보이다가 이후에는 그 증가율이 낮아진다. 이 경우 역시, 스팀 공정의 세탁 속도 증가 부분에 대한 해석을 세탁액 온도로 해석하기는 어렵다.

Fig. 5c와 Fig. 5d에 보인 돼지 피와 적포도주 오염포의 세탁결과이다. 이 두 오염포의 세탁 속도는 카본블랙/미네랄오일과 초콜릿/우유에 비해 초기 속도가 상대적으로 크다. 총 세탁효율의 증가 수치는 돼지 피의 경우 세 공정에서 모두 90% 이상의 세탁효율을 보이나 적포도주의 경우는 이와는 다르게 스팀 공정과 고온(삶음) 공정의 경우는 90% 이상이나 저온(표준) 공정의 경우는 75% 정도의 수준에 그친다. 선행연구의 온도별 세탁 속도 데이터를 보면

40℃까지는 적포도주의 세탁 속도가 돼지 피보다 크며 40℃ 이후에는 돼지 피의 세탁 속도가 크다⁹⁾. 따라서 저온(표준) 공정의 경우는 돼지 피의 경우가 낮은 세탁효율을 나타낼 것으로 예측되나 실질적인 결과는 적포도주가 더 낮은 결과를 보인다. 이 결과는 저온(표준) 공정의 세탁 불균제 경향이 그 원인일 가능성이 있다고 생각된다.

돼지 피와 적포도주의 세탁 특성의 가장 중요한 점은 초기 30분 이내에 이루어진 세탁이 총 세탁효율 증가의 90% 이상을 차지하고 이 이후에는 완만한 증가를 보인다는 점이다. 이러한 경향은 선행연구에서 보인 오염포 자체의 세탁거동 시험과 유사한 경향이다. 세 공정의 시간에 따른 이러한 세탁효율의 증가특성을 효율적으로 분석하기 위해서는 선행연구에서 제시한 두 가지 메커니즘을 포함한 모델식 (2)를 사용해 볼 필요가 있다⁹⁾.

$$\gamma_{washing}(t) = [\lambda(1 - e^{-K_1(T)t}) + (1 - \lambda)K_2(T)t] \times 100 \quad (2)$$

이 식에서 $\gamma_{washing}(t)$ 는 시간 t 에서의 오염포의 세탁효율(%), $K_1(T)$ 와 $K_2(T)$ 는 제 1 메커니즘 세탁 상수와 제 2 메커니즘 세탁 상수이다. 이때, 제 1 메커니즘은 기계적 동작이 중요하지 않은 오염물질이 세액에 용해될 수 있는 상태로 전환하는 과정이며 제 2 메커니즘은 전환된 오염물질이 세탁액의 유동으로 천으로부터 분리되는 과정을 의미한다. 또한, 100λ 는 제 1 메커니즘으로 해석되는 부분의 상대적인 크기이며 $100(1 - \lambda)$ 는 제 2 메커니즘에 의한 부분의 상대적인 크기이다^{6,9)}. Table 2는 실험 결과의 실험치를 모두 선형부분으로 간주하고 최소자승법으로 기울기를 구한 다음 시간 $t = 0$ 에서의 세탁효율 절편 값을 첫 번째 메커니즘에 의한 값으로 환산한 값을 최대 세탁효율에 대한 백분율로 나타낸 값, 100λ 와 결정계수, R^2 및 기울기 값을 나타낸다. 실험의 한계성에 의해 저온(표준) 공정의 경우 2개의 값으로 결정계수를 구하였으므로 $R^2 = 1$ 의 큰 의미는 없다.

이 결과 중에서 돼지 피의 경우 선형성의 유의성이 떨어진다. 이는 돼지 피의 세탁에서 최종 세탁 후의 세탁효율이 세탁 중 세탁효율보다 약간 낮은 현상으로 발생한 결과이다. 이 결과는 초기에 빠져나온 오염물이 세탁물에 재 부착하는 것으로 추정된다. 이 이외의 데이터들은 어느 정도의 유의성 있는 결정계수를 보인다.

Table 2. Contribution of two washing mechanism on the washing and slope of linear part of washing efficiency increasing rate of three washing processes

Process	Standard soil fabrics	100λ	R ²	slope (%/min)
Standard	Carbon black / mineral oil	46.8	1.0000	0.43
	Chocolate / milk	18.3	1.0000	1.25
	Pig's blood	78.2	1.0000	0.62
	Red wine	103.5	1.0000	-0.08
Steam	Carbon black / mineral oil	13.6	0.9450	0.73
	Chocolate / milk	25.3	0.8854	0.10
	Pig's blood	88.8	0.7244	0.23
	Red wine	84.4	0.9055	0.28
Boil	Carbon black / mineral oil	22.3	1.0000	0.54
	Chocolate / milk	53.7	0.9581	0.41
	Pig's blood	90.2	0.3049	0.15
	Red wine	82.0	0.9467	0.22

이 결과 중에서 세탁동작이 동일한 고온(끓음) 공정과 저온(표준) 공정을 비교해 보면 흥미 있는 결과를 얻을 수 있다. 카본블랙/미네랄오일과 적포도주의 경우 제 1 메커니즘에 의한 세탁효율이 크게 줄어드는 반면 초콜릿/우유의 경우, 제 1 메커니즘의 세탁효율이 아주 커진다. 이것은 제 1 메커니즘과 제 2 메커니즘의 상대적인 크기에서 오는 결과이기 때문에 고온(끓음) 공정에서는 카본블랙/미네랄오일과 적포도주는 선형부분의 오염물 제거 속도가 큰 반면 초콜릿/우유의 경우는 작아진다. 선형부분은 세탁 동작에 비례하는 세탁공정이므로 카본블랙/미네랄오일의 선형 기울기의 증가는 온도증가에 따른 파라핀 오일의 점성 감소 등으로 해석할 수 있다. 이에 비해 초콜릿/우유는 온도의 증가에 반하여 작아지는 특성을 보인다. 스팀 공정에서는 카본블랙/미네랄오일의 경우 제 1 메커니즘에 의한 세탁 분율이 가장 낮으나 다른 오염포들은 저온과 고온의 중간 값을 보인다. 이것은 Fig. 2에서 보인 바와 같이 세탁액의 온도가 가장 늦게 상승하므로 카본블랙/미네랄오일의 제 1 메커니즘 세탁성분의 온도 의존성이 큰 것으로 해석할 수 있다.

3.5 세탁물 표면온도 분석

Fig. 2의 세탁액의 온도를 비교해 보면 스팀 공정에서는 다른 공정들에 비해 초기 온도 상승 속도도 늦고, 최고 온도는 58℃ 정도로 저온(표준) 공정의 최고 온도인 38℃ 보다는 크나 95℃까지 상승하는 고온(삶음) 공정에 비해 공정 온도도 낮고 운전시간도 짧다. 그러나 Fig. 5a-5d의 결과를 보면 카본블랙/미네랄오일을 제외하고는 스팀 공정의 세탁효율이 고온(삶음) 공정의 세탁효율에 근접하고 있다. 이러한 사실은 스팀 공정이 가진 특성 중 스팀분사에 따른 물리적인 작용과 고온의 스팀이 제공할 수 있는 세탁물의 국부적인 온도 상승효과를 생각할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 적외선 카메라를 이용하여 세탁물의 표면온도를 측정하여 보았다. 적외선 이미지에 의한 세탁물의 표면온도를 확인하기 위해서 적외선 디지털 카메라와 가시광선 디지털 카메라를 동시에 사용하여 일정한 간격으로 적외선 이미지와 가시광선 이미지를 촬영하고 세탁물의 온도를 구하였다. Fig. 6a, 6b는 그 측정의 예로서 보인 스팀 공정 15분에서의 가시광선 이미지와 적외선 이미지이다.

Fig. 7는 세 공정의 공정 시간에 따른 세탁물의 표면온도를 변화추이를 나타낸 것이다. 고온(삶음) 공정과 저온(표준) 공정은 세탁액의 온도와 표면온도의 상승 경향이 유사하다. 그러나 초기에는 저온(표준) 공정의 세탁물 표면온도의 상승이 빠르다. 이에 비해 스팀 공정의 경우는 세탁액의 온도 상승 경향과는 다르게 세 공정 중 표면온도가 가장 높다. 공정 시작 후 15분 이후부터 40℃보다 큰 값을 보이며 25분부터 60℃ 이상의 값을 나타내고 이 상태에서 25분 이상을 유지하고 있다. 선행연구의 돼지피와 적포도주의 경우 40℃ 이상에서부터 세탁속도가

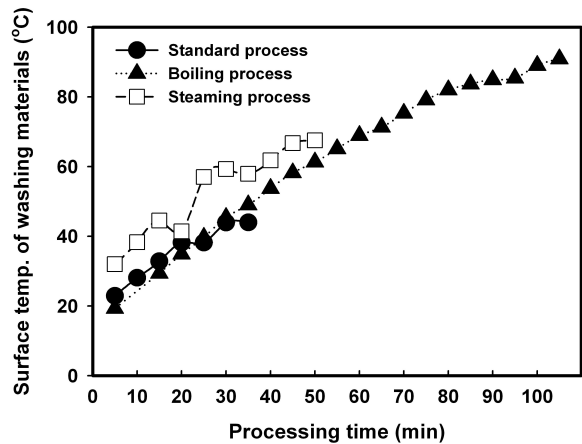


Fig. 7. Surface temperature changes of washing materials during 3 washing processes.

커지고 55℃에서 최대치를 보이는 결과를 적용하면 스팀 공정이 적포도주와 돼지 피의 세탁효율에서 고온(삶음) 공정과 유사한 결과를 보이는 점을 해석할 수 있다⁹⁾. 이에 비해 제 2 메커니즘인 선행부분이 주 세탁모드인 카본블랙/미네랄오일의 경우와 이와 유사한 초콜릿/우유의 경우는 세탁시간의 길이가 큰 영향을 미치므로 스팀에 의한 표면온도의 효과가 크지 않음을 알 수 있다.

3.6 소요 에너지 및 용수 비교

시험한 세탁기의 운전 프로그램은 전반의 세탁(washing)과정과 연이은 행균 탈수과정으로 구성되며 세 공정의 세탁부분은 서로 다르나 3회의 행균 탈수 사이클 부분은 동일한 과정을 거친다. 세탁 부분에 사용된 온도 프로파일과 사용된 용수 및 시간의 차이가 세 공정의 특성을 해석하는 중요한 데이터이다. Table 3과 Fig. 8은 본 실험에 사용된 에너지와 걸린 시간 및 사용된 용수에 관한 결과이다.



Fig. 6. Images of drum type test washing machine (a) Visible light image (b) Infrared light image after 15 minute steaming process.

Table 3. Energy and water consumption and process time distribution of 3 washing processes

Process	Standard	Steaming	Boiling
Electricity consumption(Wh)	651.8	1373.7	2590.4
Washing time(min)	32	54	80
Water consumption(l/Wash)	22.6	16.4	22.5

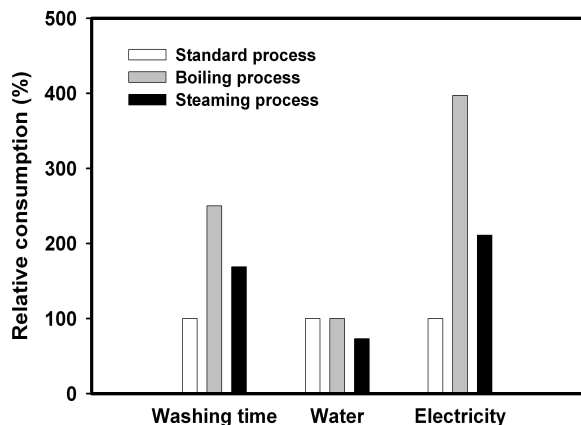


Fig. 8. Relative energy and water consumption and process time distribution of 3 washing processes (Standard process = 100%).

사용된 물의 양을 살펴보면 저온(표준) 공정과 고온(끓음) 공정은 거의 동일하다. 이 두 공정의 가열 시스템이 동일하므로 이 두 공정의 초기에는 동일한 세탁액 승온 속도를 보인다. 이에 비해서 스팀 공정의 경우는 이 두 공정에 비해 상대적으로 작은 양의 물을 사용하도록 세팅하였다. 이 결과로 세탁물 단위무게 당 사용되는 세탁액의 양이 27.4% 정도 작아서 세탁물에 함침 되는 물의 양을 제외하면 세탁기 내의 물이 차지하는 부피의 상대적으로 더 작아진다. 또한 세탁 시 투입한 세제는 동일하므로 세탁액의 농도는 스팀 공정의 겨우 세제의 농도도 그에 해당하는 만큼 높아진다.

사용된 전기의 양은 세탁기의 운전과 세탁액 가열에 사용된다. Table 3 및 Fig. 8의 전력량 결과를 보면 저온(표준) 공정을 100%로 기준하였을 때 스팀 공정과 고온(끓음) 공정이 각각 397%와 211%로서 스팀 공정의 전력 소모량이 고온(끓음) 공정의 53% 수준에 해당한다. 본 실험에서 사용된 세탁 부하가 동일하므로 저온(표준) 공정에서 사용하는 세탁물 단위 부하당의 전력 소모량은 저온(표준) 공정이 가장 적은 반면, 세탁액을 고온으로 장시간 가열하는 고온(끓음) 공정이 가장 많은 전력을 소모하는 것으로 나타났다.

4. 결 론

표준 오염포 EPMA 105를 사용하여 새로운 세탁 공정으로 등장한 저압 스팀 젯 세탁공정을 세탁액을 직접 가열하는 저온(표준) 및 고온(끓음) 세탁 공정과 비교 시험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 복합적 오염물로 구성된 EPMA 105 표준오염포의 세탁기에 의한 세탁 진행과정은 선행연구에서 제시한 두 가지 메커니즘으로 해석될 수 있다. 즉 기계적 동작이 중요하지 않은, 오염물질이 세액에 용해될 수 있는 상태로 전환하는 과정이 중요한 제 1 메커니즘과, 오염물질을 기계적이나 세액의 유동에 의해 천으로부터 분리되는 과정인 제 2 메커니즘으로 해석할 수 있다.
2. 제 1 메커니즘 의존성, 즉 세탁온도 등의 환경조건 특성이 강한 돼지 피와 와인 성분의 경우, 저압 스팀 젯을 사용하여 세탁액을 상부에서 직접 가열하는 스팀 공정이 세탁액 전체를 가열시키는 고온(끓음) 세탁 공정에 비해 세탁액의 온도를 빠른 시간 내에 상승시킬 수 있으므로 작은 에너지로서 고온(끓음) 세탁 공정과 유사한 세탁효율을 얻을 수 있다.
3. 제 2 메커니즘 의존성, 즉 세탁시간 의존성이 높은 초콜릿/우유와 카본블랙/미네랄오일의 경우는 세탁시간 자체의 길이 특성에 의해 스팀 공정의 세탁효율이 고온(끓음) 공정보다 낮고 저온(표준) 공정보다는 높게 나타났으며 이는 세탁시간의 차이에 의해 설명될 수 있다.

감사의 글

본 연구는 LG전자의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. W. P. Utermohlen, Jr. and E. L. Wallace, Detergency Studies 1,2,3, *Textile Res. J.*, **17**, 670-688(1947).

2. W. J. Diamond and H. Levin, Evaluation of Soil Removal from Cotton Fabrics, *Textile Res. J.*, **27** 787-795(1957).
3. B. J. Caroll, Physical aspects of detergency, *Colloids and surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **74**, 131-167(1993).
4. J. L. Bubl, "Laundering Cotton Fabric. Part I-Effects of Detergent Type and Water Temperature on Soil Removal", *Textile Res. J.*, **40**, 637-643(1970).
5. M. H. Seo, A. Lee, S. Jhung, S. Yang, H. Kim, and J. Koh "Analysis of Washing Process of Standard Soil Fabrics", *Coloration Technology*, Submitted.
6. E. Kissa, "Kinetics and Mechanisms of Detergency. Part I-Liquid Hydrophobic(Oily) Soils", *Textile Res. J.*, **45**, 736-741(1975).
7. E. Kissa, Kinetics and Mechanisms of Cotton Dusts. Part II -Particulate Soil, *Textile Res. J.*, **48**, 395-399(1978).
8. E. Kissa, Kinetics and Mechanisms of Cotton Dusts. Part III-Effect of Soiling Conditions on Particulate Soil Detergency, *Textile Res. J.*, **49**, 384-389(1979).
9. E. Kissa, Kinetics of Oily Soil Release, *Textile Res. J.*, **41**, 760-767(1971).
10. A. Lee, S. Yang, H. Kim and M. H. Seo, Analysis of Washing Efficiency by Mechanical Action Type, *Proceedings of the Korean Textile Conference*, **39**(2), 67-70(2006).

