

보 문

분변오염 기저귀에서 분리한 플라스틱과 펄프의 미생물 저감화

정유민¹ · 이호선² · 김경신² · 오한슬¹ · 주탁¹ · 강성태^{1*}

¹서울과학기술대학교 식품공학과, ²유한김벌리 R&E 본부

Reduction of the bacteria from fecal contaminated diapers through washing and heating

You Min Jung¹, Ho Sun Lee², Kyung Shin Kim², Han Seol Oh¹, Tak Joo¹, and Sung Tae Kang^{1*}

¹Department of Food Science and Technology, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Republic of Korea

²Yuhan-Kimberly R&E Division, Yongin 448-547, Republic of Korea

(Received January 26, 2015; Accepted April 6, 2015)

ABSTRACT: Three different methods (simple washing of plastic and pulp sample, washing after direct heating of the diapers, and the heating after washing of plastic and pulp sample) were carried out to decrease total coliforms and heterotrophic plate count (HPC) in the diaper's plastic and pulp. Plastic and pulp samples were obtained from diaper by treatment with 10% CaCl₂ and 4% sea salt water, dilution with 1,000 ml tap water, and draining by using sieves. Three times washing was the most appropriate for the reduction of microorganisms in plastic and pulp. By three times washing, the number of total coliforms in the plastic and pulp samples showed 92.8% and 99.8% of decrease, respectively, and the number of HPC showed 97.3% of decrease in the plastic and 98.5% of decrease in the pulp. The washing after direct heating of the fecal contaminated diapers was not effective because HPC in the plastic and pulp samples were still detected about 2-3 log CFU/g in the plastic and 1-2 log CFU/g in the pulp, respectively, even after heating at 60°C, 80°C, 100°C for 12 h. Meanwhile, total coliforms and HPC were completely sterilized at 80°C for 4 h by heating after washing of plastic and pulp samples, suggesting that this method was the most appropriate method for the reduction of microorganisms in plastic and pulp obtained from fecal contaminated diapers.

Key words: coliforms, diaper, heat sterilization, heterotrophic plate count, plastic, pulp

환경부의 지속적인 1회용품 사용 억제 정책에도 불구하고 현대인의 생활방식이 점점 편리성을 추구하고 있어 위생용 종이제품의 사용량이 감소하지 않고 있다. 위생용 종이제품의 총 사용량은 2013년 기준으로 약 30만 톤으로 추정되며, 위생용 종이제품의 하나인 종이 기저귀에 대해 원료 및 가공, 수송 및 유통, 사용, 재활용, 폐기물 관리 과정에 소모되고 배출되는 에너지 및 물질의 양을 정량화하여 이들이 환경에 미치는 영향을 총체적으로 평가한 결과, 유아 한 명이 하루 평균 5.87개의 기저귀를 생후 25개월까지 사용한다고 보고되었다(Kim and Yun, 2014). 선진국에서 가족의 95% 이상이 유아용 일회

용 기저귀를 사용하는 것으로 추정되며, 화장실 훈련을 받기 전의 아이들은 영국에서 총 3,796개의 일회용 기저귀를 사용하며, 하루 평균 4.16개의 기저귀를 사용하는 것으로 나타났다(Torrijos *et al.*, 2014).

이는 간편한 생활패턴을 추구하는 사회 분위기의 변화와 주부 인력의 사회 진출 증가에서 기인한 것으로 보인다. 그러나 대부분의 기저귀 폐기물은 재활용이 어렵고 관리상 문제를 일으킬 수 있는 품목으로 분류되어 폐기물 부담금 부과 대상으로 지정되어 있다. 현재 기저귀 폐기물은 일반 중량제 봉투를 통해 수거한 후 가까운 자원 회수화 시설로 운반되어 재분리 과정 없이 매립 또는 소각되는 실정이다. 배출되는 폐기물의 대부분을 매립·소각에 의존함으로써 매립 과정에서의 악취, 침출수에 의한 오염, 소각으로 인한 대기오염 등의 환경문

*For correspondence. E-mail: kst@seoultech.ac.kr;
Tel.: +82-2-970-6736; Fax: +82-2-970-6460

제가 야기된다(Kim and Yun, 2014). 간접적으로는 기저귀 배출량의 증가로 인하여 매립지나 소각장의 건설이 증가할 경우 국토 이용이 제한되는 결과가 초래된다(Yi, 2000). 이런 이유로 일회용 기저귀는 갈수록 큰 사회문제화되고 있는 매립지 부족의 직접적인 원인으로 작용하고 있으나 아직까지 재활용에 대한 처리 방법이 개발되어 있지 않다. 국내에서는 사용된 기저귀에 대해서는 분리, 수거되지 않고 추후의 처리를 위해 고체 쓰레기로서 처리되어 소각, 매립(Nadia *et al.*, 2013)에 의해 처리될 수 있으며 더 적은 양은 퇴비의 제조에 쓰이거나 무산소 상태에서 분해하여 처리할 수 있다(Colon *et al.*, 2010, 2013). 일회용 기저귀는 전형적으로 펄프(36.6%), 고흡수성 물질[super absorbent polymer (SAP), 30.7%], 플라스틱에 포함되는 폴리프로필렌[polypropylene (PP), 16%], 저밀도 폴리에틸렌[low density polyethylene (LDPE), 6.2%], 기타(10.5%)로 구성되어 있다(Torrijos *et al.*, 2014). 따라서 재활용이 불가능한 SAP을 제외하고 일회용 기저귀에서 각각 36.6%와 22.2%를 차지하고 있는 펄프와 플라스틱을 분리하여 기타 소재로서의 재활용을 확대할 필요가 있다.

그러나 우리나라에서 플라스틱과 펄프를 분리하여 재활용하고자 한 시도는 알려져 있지 않다. 한편 사용된 기저귀 하나당 평균 6%의 분변과 94%의 소변으로 구성되어 있으며 기저귀마다 191 g의 배설물을 포함한다고 알려져 있다(Colon *et al.*, 2010). Patricia와 Rowland (1999)는 생후 20주인 아기의 분변 1 g당 *Enterobacteria*는 모유와 조제유를 먹은 경우 각각 8.1 log CFU/g wet feces와 8.5 log CFU/g wet feces만큼 존재하였으며 *Enterococci*는 모유와 조제유를 먹은 경우 8.5 log CFU/g wet feces와 9.5 log CFU/g wet feces만큼 존재하였다고 보고하였다.

현재까지 수행된 기저귀 처리의 방법으로는 폐 활성 슬러지와 통합 분해에 의한 사용된 기저귀의 생분해성 부분 처리(Torrijos *et al.*, 2014), 실험실에서 사용된 아기 기저귀의 생물적인 재활용(Rosa *et al.*, 2014) 등이 있다. Conway 등(1997)에 의하면 미국의 산업센터에서 기저귀를 처리하는 과정은 기저귀를 무작위로 찢어 펄프와 플라스틱, 그리고 고흡수성 수지를 분리하고 생분해적으로 재활용을 함으로써 처리된다고 보고하였다. 그러나 우리나라에서 사용된 기저귀로부터 플라스틱과 펄프를 분리하여 재활용하고자 한 시도는 알려져 있지 않으며, 재활용을 위해서는 사용된 기저귀로부터 분리된 플라스틱 및 펄프 중의 분변미생물을 저감화하기 위한 기초 연구를 수행할 필요가 있다.

따라서 본 연구는 분변이 오염된 기저귀 쿠폰으로부터 분

리된 플라스틱과 펄프의 세척 방법과 분변이 오염된 기저귀 쿠폰을 가열 살균한 후 플라스틱과 펄프를 분리하고 세척하는 방법, 그리고 분변이 오염된 기저귀 쿠폰으로부터 분리된 플라스틱과 펄프를 세척한 후 가열 살균하는 방법의 3가지 방법으로 플라스틱과 펄프 중의 대장균군과 일반세균의 저감화를 시도하고, 가장 효과적인 저감화 방법을 확립하고자 하였다.

재료 및 방법

분변시료

실험에 사용된 분변은 5-11개월의 체중이 10-14 kg에 해당하는 서울시 노원구와 경기도 남양주시의 두 아기의 기저귀와 분변을 사용하였다. 각각의 분변은 Lee 등의 방법(2009)에 의하여 제공받은 기저귀에서 멸균 플라스틱 백으로 채취하였고 무산소상태로 4°C에서 냉장 보관하여 24시간 이내로 사용하였다. 기저귀의 살균실험 시에는 채취한 분변의 무게를 측정하고 멸균 생리식염수로 10배 희석한 뒤 균질화한 후 사용하였다.

분변오염 기저귀 쿠폰의 제조

본 연구에 사용된 기저귀는 유한킴벌리(株)에서 제공받은 기저귀(Huggies tape type, Yuhan Kimberly)를 사용하였다. 이 후 실험에는 Keswick의 방법(1988)을 변형하여 기저귀를 6 cm × 6 cm 크기의 쿠폰(coupon)으로 잘라서 사용하였다. 각각의 쿠폰은 멸균된 가위를 이용하여 자른 후 기저귀 쿠폰(6 cm × 6 cm) 중앙부분에 지름 3 cm의 크기로 분변의 10배 희석액 10 ml를 접종한 후 상온에서 약 1시간 동안 흡수시켰다.

분변 오염 기저귀 쿠폰으로부터 플라스틱과 펄프의 분리

분변 오염 기저귀 쿠폰으로부터 플라스틱과 펄프의 분리공정은 Fig. 1에 나타내었다. 플라스틱, 펄프로 분리하기 위하여 분변이 오염된 기저귀 쿠폰(6 cm × 6 cm)의 10% CaCl₂과 4% 해수염 용액(800 ml)에 1시간 동안 반응시킨 후 1,000 ml의 수돗물을 이용하여 희석하였다. 해수염 용액은 기저귀 쿠폰의 구성 물질인 고흡수성 고분자 물질(SAP)에 흡수되어 있는 수분을 분리하기 위하여 사용하였다. 이 혼합용액을 플라스틱과 mesh size 1.7 mm의 시험용 체(ChungGye Industrial Mfg., Co.)를 통과한 펄프로 분리하여 채취하였다.

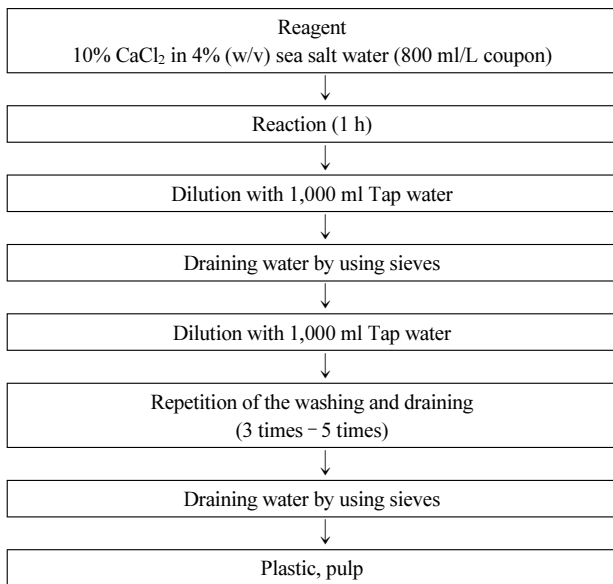


Fig. 1. Common procedures for the separation of plastic and pulp (separation of diaper coupon and washing of plastic and pulp).

분리된 플라스틱과 펄프의 세척횟수의 최적화

기저귀 쿠폰(6 cm × 6 cm) 중앙 부분에 지름 3 cm의 크기로 분변의 10배 희석액 10 ml를 접종한 후 상온에서 약 1시간 동안 흡수시켰다. 위에 제시된 ‘분변 오염 기저귀 쿠폰으로부터 플라스틱과 펄프의 분리’ 방법을 실시하였다. 시험용 체로 물을 제거한 플라스틱과 펄프를 스테인레스 볼(bowl)에 다시 담아 1,000 ml 수돗물과 함께 자력 교반기를 이용하여 450 rpm으로 10분간 세척하였고 이 혼합물을 2 단으로 쌓은 시험용 체 위로 부어 30분간 물을 제거시키는 과정을 1-5 회 반복하고, 플라스틱과 mesh size 1.7 mm의 시험용 체를 통과한 펄프를 채취하였다. 회수된 플라스틱과 펄프에 대하여 반복 세척에 따른 균수변화를 측정하였다.

분변 오염 기저귀 쿠폰의 가열 살균 후 플라스틱과 펄프의 분리 및 세척

기저귀 쿠폰(6 cm × 6 cm) 중앙 부분에 지름 3 cm의 크기로 분변 희석액 10 ml를 접종한 후 상온에서 약 1시간 동안 흡수시켰다. 각각의 쿠폰은 멸균된 페트리디쉬에 담아 60°C, 80°C, 100°C의 dry oven에 넣어 살균하였다. 각 온도의 dry oven에서 2시간 간격으로 12시간까지 가열 살균한 후 쿠폰 시료를 꺼내어 위에 설명한 ‘분변 오염 기저귀 쿠폰으로부터 플라스틱과 펄프의 분리’ 방법에 따라 플라스틱과 펄프로 분리한 후 3회 세척하였다. 세척 후 회수된 플라스틱의 무게를 측정하고 10배의 멸균생리식염수를 가해 5분간 Stomacher (Bagmixer@400,

Interscience)로 균질화한 것을 플라스틱의 시험용액으로 하였고, 회수된 펄프는 1 g을 채취하여 멸균생리식염수 9 ml를 가해 5분간 균질화한 것을 펄프의 시험 용액으로 하여 균수변화를 측정하였다.

분변 오염 기저귀 쿠폰으로부터 분리된 플라스틱과 펄프의 세척 후 가열 살균

기저귀 쿠폰(6 cm × 6 cm) 중앙부분에 지름 3 cm의 크기로 분변 희석액 10 ml를 접종한 후 상온에서 약 1시간 동안 흡수시켰다. ‘분변 오염 기저귀 쿠폰으로부터 플라스틱과 펄프의 분리’ 방법에 따라 플라스틱, 펄프를 분리한 후 3회 세척하였다. 세척된 플라스틱과 펄프는 1 g씩 멸균된 여러 개의 conical tube에 넣고 60°C, 80°C, 100°C의 dry oven에 넣어 살균하였다. 각 온도의 dry oven에서 2시간 간격으로 12시간까지 가열 살균한 후 시료를 꺼내어 균수변화를 측정하였다.

시료 중의 미생물수 측정

각 시료는 멸균한 9 ml의 0.85% 생리식염수를 사용하여 10배씩 희석하여 일반세균은 plate count agar (Difco Laboratories), 대장균군은 desoxycholate agar (Difco)를 사용하여 측정하였다. 일반세균, 대장균군은 37°C에서 48시간 동안 배양한 후 집락수가 30-300 CFU가 나타나는 평판을 선택하여 생균수를 측정하고 CFU/g으로 나타내었다(KRDA, 2011).

결 과

분변 오염 기저귀 쿠폰의 세척 횟수의 최적화

분변이 오염된 기저귀 쿠폰의 세척 횟수에 따른 대장균군수와 일반세균수의 변화를 검토하였다(Table 1). 분변의 초기 대장균군수는 7.49 log CFU/g로 검출되었으며 분변이 오염된 기저귀 쿠폰을 CaCl₂와 해수염 용액으로 처리한 후, 1,000 ml의 희석수를 투입하는 플라스틱과 펄프의 분리 처리에 의하여 얻어진 플라스틱(0회 세척)에서는 4.62 log CFU/g으로 대장균수가 감소하였고 그 후 3회 세척을 하였을 때 3.45 log CFU/g (0회 세척 기준 7.25%)으로 감소하였으나 3-5회 세척 후 3 log CFU/g 수준의 대장균군수가 유지되었다. 분변 오염 기저귀 쿠폰으로부터 분리된 펄프(0회 세척)의 경우 4.66 log CFU/g으로 대장균수가 감소하였고 그 후 3회 세척을 하였을 때 2.07 log CFU/g (0회 세척 기준 0.25%)으로 감소하였으나 3-5회 세척 후 2 log CFU/g 수준의 대장균수가 유지되었다. 이러한 결

Table 1. Effect of washing on viable counts of plastic and pulp separated from contaminated diapersample (log CFU/g, percentage of survival (%))

Number of washing	HPC ¹⁾ (log CFU/g), Percentage of survival (%)		Total coliforms (log CFU/g), Percentage of survival (%)	
	Plastic ²⁾	Pulp	Plastic	Pulp
Feces sample	8.04±0.02 ^{ab3)}	8.04±0.02 ^a	7.49±0.02 ^a	7.48±0.02 ^a
0	5.04±0.02 ^b (100)	5.51±0.01 ^b (100)	4.62±0.02 ^b (100)	4.66±0.02 ^b (100)
1	4.38±0.03 ^c (21.8)	4.76±0.02 ^c (18.18)	4.13±0.02 ^c (35.00)	4.13±0.02 ^c (27.08)
2	3.81±0.02 ^d (5.82)	4.01±0.02 ^d (3.03)	3.06±0.02 ^d (3.00)	3.56±0.02 ^d (7.92)
3	3.47±0.02 ^e (2.73)	3.68±0.02 ^e (1.48)	3.45±0.01 ^e (7.25)	2.07±0.01 ^e (0.25)
4	3.77±0.02 ^f (5.18)	3.87±0.02 ^f (2.24)	3.31±0.02 ^f (5.25)	2.78±0.02 ^f (1.29)
5	3.66±0.02 ^g (4.00)	3.46±0.02 ^g (0.88)	3.09±0.01 ^g (3.00)	2.12±0.01 ^g (0.27)

1) HPC : heterotrophic plate count.

2) Mean ± SD

3) Means with different letters within a column are significantly different from each other at $P < 0.05$ as determined by Duncan's multiple range test.

과는 *E. coli*를 접종한 Stainless steel 쿠폰을 물 세척 처리하여, 2 log 수준의 감소를 나타낸 Bae 등(2009)의 결과와 같은 경향을 보였다.

한편 분변의 초기 일반세균수는 8.04 log CFU/g으로 검출되었으며 분변이 오염된 기저귀 쿠폰을 CaCl₂와 해수염 용액으로 처리한 후, 1,000 ml의 희석수를 투입하는 플라스틱과 펄프의 분리 처리에 의하여 얻어진 플라스틱(0회 세척)에서는 5.04 log CFU/g으로 일반세균수가 감소하였고 그 후 3회 세척을 하였을 때 3.47 log CFU/g (0회 세척 기준 2.73%)으로 일반세균수의 감소를 보였으나 3-5회 세척 후 3 log CFU/g 수준의 일반세균수가 유지되었다. 분변 오염 기저귀 쿠폰으로부터 분리된 펄프(0회 세척)의 경우 5.51 log CFU/g으로 일반세균수가 감소하였고, 그 후 3회 세척을 하였을 때 3.68 log CFU/g (0회 세척 기준 1.48%)으로 일반세균수의 감소를 보였으나 3-5회 세척 후 3 log CFU/g 수준의 일반세균수가 유지되었다.

분변 오염 기저귀 쿠폰의 가열 살균 후 분리된 플라스틱의 대장균군수와 일반세균수의 변화

분변오염 기저귀 쿠폰을 60°C, 80°C, 100°C에서 12시간 동안 살균한 후 세척 및 분리과정을 거쳐 회수한 플라스틱에 잔존하는 대장균군수와 일반세균수를 측정하였다(Fig. 2A). 초

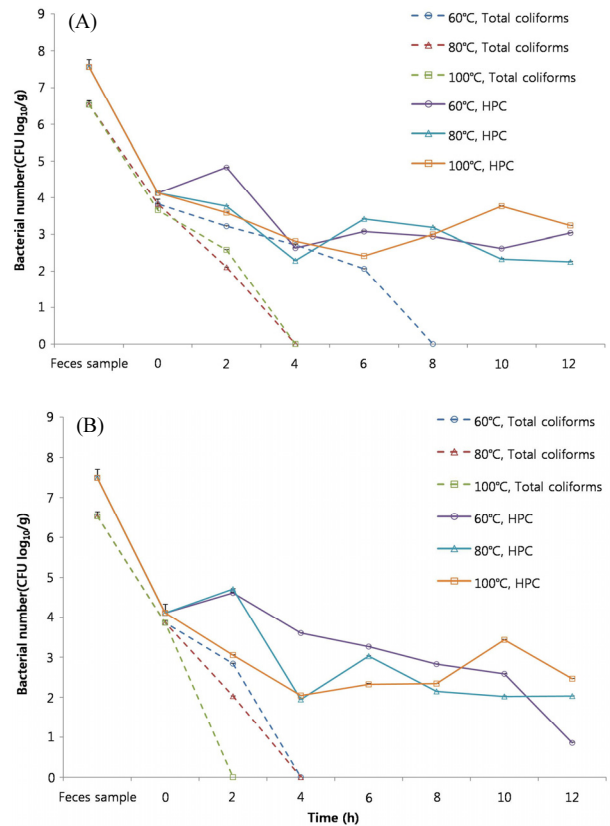


Fig. 2. Killing effect of the bacteria contaminated in the diaper samples by the washing after heating of the fecal contaminated diaper. (A) plastic, (B) pulp : Plastic and pulp samples were obtained from the diaper by the reaction with 10% CaCl₂ and 4% sea salt water and dilution with 1,000 ml tap water, and repetition of the washing and draining (HPC: heterotrophic plate count).

기에 오염된 분변 중 대장균군수는 약 6.53 log CFU/g이었으며 플라스틱은 3회 세척 후 약 3.82 log CFU/g (분변기준 0.14%)으로 감소하였다. 플라스틱에 존재하는 대장균군은 60°C에서는 8시간 만에 완전 사멸하였고, 80°C, 100°C에서 4시간 만에 사멸하였다.

한편 일반세균의 경우, 초기에 오염된 분변 중 일반세균수는 약 7.57 log CFU/g이었으며 플라스틱은 3회 세척 후 약 4.13 log CFU/g (분변기준 0.02%)으로 감소하였다. 그러나 12시간 가열 후에도 60°C, 80°C, 100°C에서 2.26-3.04 log CFU/g으로 검출되어 완전 사멸이 불가능하였다.

분변 오염 기저귀 쿠폰의 가열 살균 후 분리된 펄프의 대장균군수와 일반세균수의 변화

분변 오염 기저귀 쿠폰을 60°C, 80°C, 100°C에서 12시간 동안 살균한 후 세척 및 분리과정을 거쳐 회수한 펄프에 잔존하는

대장균군수와 일반세균수를 측정하였다(Fig. 2B). 초기에 오염된 분변 중 대장균군수는 약 $6.53 \log \text{CFU/g}$ 이었으며, 펄프에서는 3회 세척 후 약 $3.87 \log \text{CFU/g}$ (분변기준 0.19%)으로 감소하였다. 펄프에 존재하는 대장균군은 60°C , 80°C 에서는 4시간 만에 완전 사멸하였고, 100°C 에서는 2시간 만에 사멸하였다.

한편 일반세균의 경우, 초기에 오염된 분변 중 일반세균수는 약 $7.49 \log \text{CFU/g}$ 이었으며, 펄프에서는 3회 세척 후 약 $4.11 \log \text{CFU/g}$ (분변기준 0.02%)으로 감소하였다. 그러나 일반세균은 12시간 가열 후에도 60°C , 80°C , 100°C 에서 $0.86\text{--}2.46 \log \text{CFU/g}$ 으로 검출되어 완전 사멸이 불가능하였다. 이와 같은 현상은 분변 중에 내열성 균이 존재하기 때문으로 추측되며, Jung 등(2009)은 인체 분변으로부터 *Lactobacillus pentosus*를 분리하여 신선한 배양액 중에 유산균을 MRS broth에 접종하여 생존율을 측정하고, 80°C 에서 30분간 가열로 20.9%가 생존하였다고 보고하였고, Byun 등(2000)은 양돈용 생균제 균주를 80°C 에서 15분간 열처리하였을 때, *Lactobacillus* spp.와 *Streptococcus* spp.가 각각 16%와 32%의 내열성을 보였다고 보고하였다. 그러나 본 연구와 같이 기저귀 중의 미생물의 사멸에 대한 연구는 알려져 있지 않으며, 그 중 분변 내 내열성 미생물의 가열 중 사멸에 관한 추후 연구가 필요할 것으로 보여진다. 한편 분변오염 기저귀 쿠폰의 직접적인 가열 살균 방법은 기저귀의 살균 시간이 길어질수록 플라스틱 및 펄프에 분변의 고착 현상이 관찰되었으며, 사용된 기저귀의 재활용을 위해서는 표백 등의 추가 공정의 도입이 필요하다고 사료된다.

분변 오염 기저귀 쿠폰으로부터 분리된 플라스틱의 세척 후 가열 살균에 따른 대장균군수와 일반세균수의 변화

분변오염 기저귀 쿠폰으로부터 플라스틱 및 펄프를 분리하고 3회 세척을 수행한 후, 12시간 동안 60°C , 80°C , 100°C 에서 가열 살균한 후 플라스틱에 잔존하는 대장균군수와 일반세균수를 측정하였다(Fig. 3A). 대장균군의 경우, 초기에 오염된 분변 중 대장균군수는 $6.43 \log \text{CFU/g}$ 이었으며, 플라스틱에서는 3회 세척한 후 2.68 log cycle만큼 감소하여 $3.75 \log \text{CFU/g}$ 로 나타났다. 분변 오염 기저귀 쿠폰을 3회 세척 후 가열 살균하였을 때, 플라스틱에 존재하는 대장균군은 60°C 에서는 4시간 만에 완전 사멸하였고, 80°C 와 100°C 에서는 2시간 만에 완전 사멸하였다. 한편 일반세균수의 경우, 초기에 오염된 분변 중 $6.87 \log \text{CFU/g}$ 의 일반세균이 존재하였으며, 플라스틱의 균수는 3회 세척 후 $4.18 \log \text{CFU/g}$ 으로 검출되어 2.69 log cycle만큼 감소하였다. 분변 오염 기저귀 쿠폰을 3회 세척 후

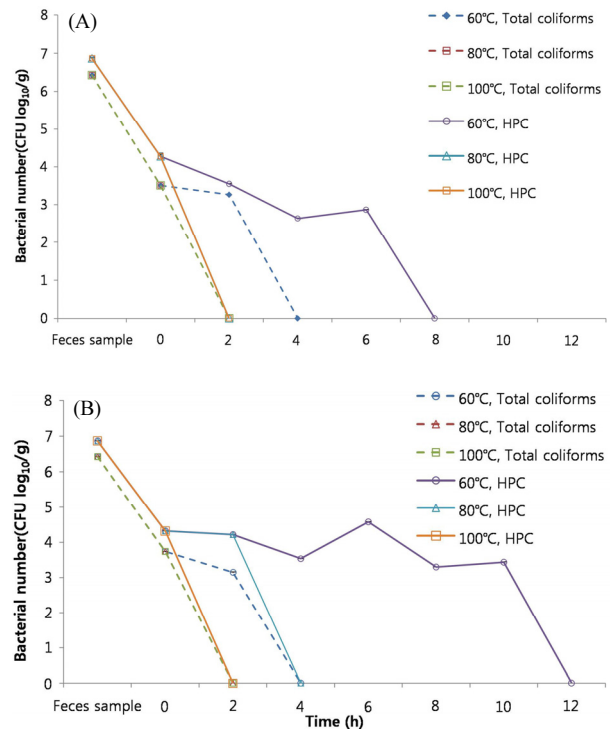


Fig. 3. Killing effect of the bacteria contaminated in the diaper samples by the heating after washing of the fecal contaminated diaper. (A) plastic, (B) pulp : Plastic and pulp samples were obtained from the diaper by the reaction with 10% CaCl_2 and 4% sea salt water and dilution with 1,000 ml tap water, and repetition of the washing and draining (HPC: heterotrophic plate count).

가열 살균하였을 때, 플라스틱에 존재하는 일반세균은 60°C 에서는 8시간 만에 완전 사멸하였고, 80°C 와 100°C 에서는 2시간 만에 완전 사멸하였다.

분변 오염 기저귀 쿠폰으로부터 분리된 펄프의 세척 후 가열 살균에 따른 대장균군수와 일반세균수의 변화

분변 오염 기저귀 쿠폰으로부터 플라스틱 및 펄프를 분리하고 3회 세척을 수행한 후, 12시간 동안 60°C , 80°C , 100°C 에서 가열 살균한 후 펄프에 잔존하는 대장균군수와 일반세균수를 측정하였다(Fig. 3B). 대장균군의 경우, 초기에 오염된 분변 중 대장균군수는 $6.43 \log \text{CFU/g}$ 이었으며, 펄프에서는 3회 세척한 후 2.92 log cycle만큼 감소하여 $3.51 \log \text{CFU/g}$ 로 나타났다. 분변 오염 기저귀 쿠폰을 3회 세척 후 가열 살균하였을 때, 펄프에 존재하는 대장균군은 60°C 에서는 4시간 만에 완전 사멸하였고, 80°C 와 100°C 에서는 2시간 만에 완전 사멸하였다. 한편 일반세균수의 경우, 초기에 오염된 분변 중 $6.87 \log \text{CFU/g}$ 의 일반세균이 존재하였으며, 펄프의 균수는 3회 세척 후 $4.32 \log \text{CFU/g}$ 으로 검출되어 2.55 log cycle만큼 감소하였

다. 분변 오염 기저귀 쿠폰을 3회 세척 후 가열 살균하였을 때, 펄프에 존재하는 일반세균은 60°C에서는 12시간 만에 완전 사멸하였고, 80°C에서는 4시간 만에 완전 사멸하였으며 100°C에서는 2시간 만에 완전 사멸하였다. 결과적으로, 분변오염 기저귀 쿠폰으로부터 플라스틱과 펄프를 분리하고 3회 세척을 수행한 후 가열 살균한 결과, 80°C에서 대장균과 일반세균이 각각 최대 4시간 만에 완전 사멸하였다.

고 찰

본 연구 결과, 분변 오염 기저귀 쿠폰으로부터 분리된 플라스틱 및 펄프의 세척 후 가열 살균 방법은 기저귀 쿠폰의 가열 살균 후 플라스틱 및 펄프를 분리하는 방법과 비교하여 대장균수와 일반세균수의 사멸에 적은 시간이 소요되었고, 플라스틱과 펄프에 분변의 고착 현상에 의한 착색이 관찰되지 아니하였으므로, 사용된 기저귀의 재활용에 보다 적합한 방법으로 판단되었다. 사용된 기저귀로부터 플라스틱과 펄프를 대량으로 분리하고 살균하여 재활용하기 위해서는 기저귀로부터 분리된 시료를 효과적으로 분리할 수 있는 장치 및 적절한 가열 살균 장치의 개발이 필요하며 본 연구의 결과가 이를 위한 기초적인 데이터로 활용될 수 있으리라 기대된다. 또한 식품별로 미생물 검출 기준을 달리하고 있는 식품공전과 수질관련 미생물 기준을 고려할 때 살균공정 후에 얻어지는 최종 제품(플라스틱과 펄프)에 있어서도 제품의 활용과 품질을 고려한 완전살균이 아닌 적절한 미생물학적 기준설정이 필요하다고 사료된다.

적 요

분변이 오염된 기저귀의 플라스틱과 펄프를 재활용하기 위해서 기저귀에서 분리된 플라스틱과 펄프의 세척, 기저귀의 직접 가열 살균 후 세척, 분리된 플라스틱과 펄프의 세척 후 가열 살균의 3가지 방법으로 플라스틱, 펄프 중의 대장균과 일반세균의 저감화를 시도하였다. 기저귀를 10% CaCl₂과 4% 해수염 용액에 반응시킨 뒤 1,000 ml의 희석액을 투입한 후 체에 걸러 플라스틱과 펄프 시료를 분리하였다. 분리된 플라스틱, 펄프의 미생물의 저감화에는 3회 세척이 가장 적당하였으며 3회 세척 시 플라스틱과 펄프에 잔존하는 대장균군은 92.8%과 99.8%가 감소하였고 일반세균은 97.3%과 98.5%가 감소하였다. 사용된 기저귀에서 플라스틱과 펄프를 분리하지

않고 직접 기저귀를 살균한 후 플라스틱과 펄프를 분리하여 잔존 미생물수를 측정한 결과, 60°C, 80°C, 100°C에서 12시간 동안 살균한 후 3회 세척 및 분리 과정을 거쳐 회수한 플라스틱과 펄프에서는 12시간 가열 후에도 60°C, 80°C, 100°C에서 각각 2-3 log CFU/g, 1-2 log CFU/g으로 일반세균이 검출되어 완전 사멸이 되지 않았다. 한편 분변 오염된 기저귀로부터 얻어진 플라스틱과 펄프를 3회 세척한 후 가열하는 경우 80°C에서 4시간으로 완전 살균이 되었으며, 이 방법이 분리된 플라스틱과 펄프 중의 미생물의 저감화에 가장 적합한 방법으로 확인되었다.

감사의 말

본 연구는 환경부의 환경산업선진화기술개발사업(과제번호: 2014000150009)에서 지원받았습니다. 이에 감사드립니다.

References

- Bae, Y.M., Heu, S.I., and Lee, S.Y. 2009. Inhibitory effect of dry heat sterilization and disinfectant for various pathogenic bacteria contaminated the material surface. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **38**, 1265-1270.
- Byun, J.W., Kim, G.T., Bae, H.S., Baek, Y.J., and Lee, W.K. 2000. *In vitro* selection of lactic acid bacteria for probiotic use in pigs. *J. Vet. Sci.* **40**, 701-706.
- Colon, J., Mestre-Montserrat, M., Puig-Ventosa, I., and Sanchez, A. 2013. Performance of compostable baby used diapers in the composting process with the organic fraction of municipal solid waste. *Waste Manage.* **33**, 1097-1103.
- Colon, J., Ruggieri, L., Sanchez, A., Gonzalez, A., and Puig, I. 2010. Possibilities of composting disposable diapers with municipal solid waste. *Waste Manag. Res.* **29**, 249-259.
- Conway, M.E., Jooste, F., and Smith, M.D. 1997. Treatment of absorbent sanitary paper products. Brampton, CANADA assigned to Knowaste Technologies Inc. p. 156. *J. Cleaner Prod* 5. Patent number: 5,558,745. Date of patent: sep. 24.
- Keswick, B.H. 1988. Evaluation of the growth of microorganisms on diaper absorbent materials. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* **3**, 21-28.
- Kim, K.S. and Yun, S.J. 2014. Diaper recycling policy design options with a focus on influential factors of recycling behavior: based on a survey on citizens' awareness in Seoul. *J. Environ. Admin.* **22**, 101-130.
- KRDA. 2011. "Microbe experimental method". Korea Food Standards Codex (II), pp. 141-193.
- Lee, S.G., Jeong, S.G., Oh, M.H., Kim, D.H., Kang, D.K., Lee, W.K., and Ham, J.S. 2009. Fecal microflora of Korean neonates.

Korean J. Dairy Sci. Technol. **27**, 1–6.

- Nadia, M., Valentina, C., and Serenella, S.** 2013. Life cycle assessment of bio-based products: a disposable diaper case study. *Int. J. Life Cycle Assess.* **18**, 1036–1047.
- Patricia, M.H. and Rowland, I.R.** 1999. The gut microflora of the developing infant: Microbiology and metabolism. *Microb. Ecol. Health Dis.* **11**, 75–83.
- Rosa, M., Espinosa, V., Perla, X., Sotelo, N., Xochitl, Q., and Mariel, A.** 2014. Biological recycling of used baby diapers in a small-scale composting system. *J. Resconrec.* **87**, 153–157.
- Torrijos, M., Sousbie, P., Rouez, M., Lemunier, M., Lessard, Y., Galtier, L., Simao, A., and Steyer, J.P.** 2014. Treatment of the biodegradable fraction of used disposable diapers by so-digestion with waste activated sludge. *Waste Manag.* **34**, 669–675.
- Jung, M.Y., Park, Y.H., Kim, H.S., Boo, H.R., and Jang, Y.H.** 2009. Probiotic property of *Lactobacillus pentosus* Miny-148 isolated from human feces. *Kor. J. Microbiol.* **45**, 177–178.
- Yi, Y.K.** 2000. A study on the recycling policy for effective citizen participation: focused on the promoting factors of recycling behavior through questionnaire survey. *J. Environ Admin.* **8**, 133–155.