건조필름 자동계수기와 육안계수의 생산성 및 정확성 비교 연구 : 식단형 식사관리식품의 일반세균 분석을 중심으로

A Comparative Study on Productivity and Accuracy between Automated Dry Film Plate Reader and Manual Counting : Analysis of Aerobic Bacteria in Meal Type Dietary Management Foods for Patients

문선희[1], 서연희[2], 최윤경[1], 박주연[1], 허유정[2], 강성일[2*]

Sun-Hee Moon[1], Yeon-Hee Seo[2], Yoon-Kyung Choi[1], Ju-Yeon Park[1], Yoo Jung Heo[2], Seong Il Kang[2]

[1]㈜현대그린푸드 스마트푸드센터, [2]네오젠 아시아랩

[1]Smart Food Center, Hyundai Greenfood, Seongnam, Korea, [2]APAC Lab., Neogen, Yongin, Korea

강 성 일

Correspondence to

Seong Il Kang.
Tel.: +82 2 1566 4486
Asia-Pacific Lab Technical Service, Yongin, 16864, Korea
E-mail address: SKang@neogen.com (Seong Il Kang)

1. 서론

현대 사회에서 고령화로 만성질환 환자의 수가 꾸준히 증가하고 있으며, 그에 따라 당뇨병, 고혈압, 암, 신장질환 등 환자군을 위한 맞춤형 영양 관리의 중요성이 부각되고 있다[1]. 이러한 환자들은 일반 식품만으로 영양을 충분히 보충하기 어렵거나 특정 영양성분의 제한이 필요하기 때문에, 특수의료용도식품 (Foods for special medical purposes, FSMPs) 시장이 빠르게 확장되고 있다[2]. 전 세계 FSMPs 시장은 2023년 약 32억 달러 규모에서 2032년 약 44억 달러로 성장이 예상되고 있다[3]. 국내에서는 2022년 FSMPs 제품 중 식단형 식사관리식품의 제조가공기준이 제정되면서 시장 활성화가 이루어지고 있으며, 식품의약품안전처는 일정 매출 이상 FSMPs 제품에 대해 식품이력추적제도를 적용하도록 규정한 바 있다[4]. 또한 FSMPs은 가정으로 배송되는 정기구독 형태로 공급되면서 유통 경로가 기존 의료기관 중심에서 소비자가 직접 제품을 선택하는 온라인 이나 홈쇼핑 등 일반 유통망으로 점차 확대되고 있다[5].

식단형 식사관리식품은 환자, 고령자, 혹은 특정질환자를 대상으로 한 맞춤형 영양 공급을 목적으로 하며, 일반 가공식품과 달리 매일 바뀌는 메뉴와 다양한 조리 · 가공 특성을 지닌다[6]. 이러한 특성은 제조 과정에서 지속적인 신규 품목 개발을 요구하며, 그 결과 품목제조보고 품목수가 급증하는 구조를 형성한다. 실제로 2025년 8월 기준 식품의약품안전처에 보고된 식단형 식사관리식품은 900종 이상으로 파악되며[7], 이는 동일 유형의 식품군과 비교하였을 때 매우 높은 수준의 다양

성이다. 21년 국내 FSMPs 생산액은 글로벌 메디푸드 시장 규모의 1% 수준으로[8], 운영 과정에서 요구되는 품목 수와 관리 강도는 다른 식품군 대비 현저히 높은 편이며 FSMPs는 일반인용 식품과 달리 미생물학적 안전성에 보다 엄격한 기준이 요구된다[9]. 면역 저하, 항암 치료, 신장 투석 등 치료를 받고 있는 환자에게는 아주 낮은 수준의 병원성 또는 비병원성 일반세균도 감염의 위험요인이 될 수 있다[10]. 따라서 이러한 식품이 환자에게 도달하기 전에 엄격한 미생물 시험 및 위생 관리가 필수적이며, 그 중 일반세균 분석은 제품의 안전성과 직결되는 핵심 검사 항목이다. 식품공전에 따르면, 일반세균을 검출하는 전통적인 방법은 시료를 희석한 뒤 표준한천배지에 도말 또는 혼합 접종하여 발생한 집락을 계수하여 시료 1 g 또는 1 mL 중의 일반세균을 산출하도록 규정하고 있다[11]. 이 방법은 높은 신뢰성과 재현성을 제공하지만, 준비 시간이 오래 걸리고 숙련된 인력이 필요하며, 결과를 얻기까지 최소 2일 이상이 소요된다[12]. 또한 다수의 시료를 동시에 처리할 경우 계수 시간이 길어 병목 현상이 발생할 수 있으며 이로 인해 식품 출하 시점과 시험 결과 간의 시차가 생겨 보관기간 연장, 신선도 저하, 혹은 소비 후에 결과가 확인되는 문제가 발생할 수 있다[13]. ㈜현대그린푸드의 경우 하루 평균 6 ~ 12 종의 식단형 식사관리식품에 대하여 일반세균수 분석을 진행하고 있으며, 분석 단계에서만 약 3 시간 이상의 작업 시간이 소요되는 것으로 보고있다. 더불어 품목 수는 매년 증가 추세에 있어 이러한 한계를 보완하기 위해 식품공전에 등재된 건조필름 배지를 활용하고 있다. 건조필름은 미생물 생육에 필요한 영양 성분을 필름 표면에 건조 코팅해 둔 것으로, 시료가 접종되면 수분을 흡수하여 겔 상태를 형성함으로써 균이 증식할 수 있는 환경을 제공한다[14]. 전통적인 배지법과 달리 배지 조제가 필요 없고 조작 과정이 단순하여, 다수의 시료를 동시에 처리할 수 있는 장점이 있다. 이로 인해 분석 소요 시간을 줄일 수 있으며, 식품제조 및 가공업체의 자가품질검사나 식품안전관리인증기준(HACCP) 관리 현장에서 효율적인 미생물 검출 도구로 활용되고 있다[15]. 이중 식품공전의 수록된 Neogen사의 Petrifilm® Plates (Neogen· Lansing, MI, USA)은 얇은 구조와 균일한 매질 제공, 저장 및 폐기 간소화, 공간 절약 등의 장점을 지닌다[16]. 하지만 Petrifilm® Plates를 이용하더라도 육안계수는 주관적인 오차를 유발하고, 계수 시간이 길어져 실험 결과 도출에 지연이 발생할 수 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 도입된 Petrifilm® Plate Reader Advanced (PPRA, Neogen)는 Petrifilm® Plate 상의 집락을 자동 이미지 판독하여 빠르게 계수할 수 있으며, 6초 이하의 판독 시간 성능을 제공하여 실험 효율성을 크게 향상시킬 수 있다[17]. PPRA는 머신러닝을 통한 인공지능(AI)을 활용하여 Petrifilm® Plate를 자동으로 판독하며, 최대 900개의 Petrifilm® plate를 1시간 이내에 처리할 수 있어 대량 시료 처리에 적합하다[17]. PPRA와 육안계수를 비교한 선행 연구에서는, $\log_{10}$ CFU간의 퍼센트 차이가 ±10% 이내 시 동등성 기준을 적용한 바 있으며, 다양한 농도대의 Petrifilm® Plate를 PPRA와 수동 계수를 비교한 검증 결과가 보고되어 있다[18,19].

본 연구에서는 미생물학적 안전성에 대한 요구도가 높은 식단형 식사관리식품을 대상으로, Petrifilm® Aerobic Count Plate (AC, Neogen)와 Petrifilm® Rapid Aerobic Count Plate (RAC, Neogen)를 이용해 육안계수와 PPRA의 계수 결과 및 시간 효율성을 비교하고자 한다. 이를 통해 PPRA가 기존 육안계수를 대체할 수 있는지 여부, 즉 정확도와 생산성 관점에서의 적용 타당성을 평가하고 FSMPs 품질검사 과정의 신속성과 정확성을 동시에 확보함으로써 식단형 식사관리식품의 안전성 관리 수준을 향상시키는 근거 마련의 목적으로 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시료준비

본 연구에서는 환자용 식단형 식품으로 시판중인 냉동 가자미살 미역국을 시험시료로 사용했다. 해당 제품은 ㈜현대그린푸드 스마트푸드센터 (Sungnam, Korea)에서 제조 · 판매되는 것으로, 식품의약품안전처 고시에 따른 암환자용 식단형 식품에 해당한다[20]. 시료는 상온 수돗물에 침지하여 약 2시간동안 해동한 뒤 사용하였다. 실험에 앞서 시료 자체에 존재하는 일반세균을 Petrifilm® Aerobic Count Plate (AC, Neogen)와 Petrifilm® Rapid Aerobic Count Plate (RAC, Neogen)를 사용하여 측정하였다. 일반세균의 충분한 균수를 확보하기 위하여 해동된 시료를 37 ℃에서 24시간 증균하였으며, 증균액의 초기균수를 AC와 RAC를 이용하여 확인하였다.

2.2. 접종 및 배양

실험에 사용한 증균액은 약 5×10^7 CFU/mL 수준으로 조정하였다. 멸균된 0.85%(w/v) sodium chloride (Daejung Chemicals & Metals, Siheung, Korea)을 이용하여 비증균 가자미살 미역국을 1:10 비율로 희석한 후, 여기에 증균액을 첨가하여 저농도 (10^0 CFU/mL), 중농도 (10^1 CFU/mL), 고농도 (10^2 CFU/mL)의 수준의 접종군을 조제하였다. 각 시료는 BagMixer (Interscience, Saint-Nom-la-Bretèche, France)로 2분간 균질화하여 접종균이 고르게 분포되도록 하였다. 준비된 시료를 0.85% (w/v) NaCl 용액으로 희석하여 최종 접종 농도가 0 - 30, 31 - 60, 61 - 90, 91 - 120, 121 - 150, 151 - 210 CFU/mL가 되도록 한 뒤, 각각 1 mL를 AC와 RAC에 접종하였다. 각 농도 구간별로 30장의 AC와 RAC에 접종하였으며, 이에 따라 각각 180장의 AC와 RAC가 준비되었다.

2.3. 계수 방법

집락 계수는 연구에 참여한 4명의 숙련된 실험자에 의해 수행되었다. 각 실험자는 농도 구간별 30장의 AC와 RAC를 육안 계수하였으며, 자동 계수는 PPRA (Neogen)를 이용하였다. 육안 계수의 경우 각 플레이트에서 첫 번째 집락을 계수하기 시작한 시점부터 마지막 집락 계수를 마칠 때까지의 시간을 초시계를 사용하여 기록하였다. PPRA 계수의 측정 시간은 플레이트가 기기에 투입되는 순간부터 판독 결과가 출력되어 배출될 때까지 로 정의하였다. 판독은 Neogen에서 제공하는 해석 가이드 및 제품 설명서를 준수하여 실시하였다.

2.4. 데이터 분석

계수된 결과는 농도구간 (0 - 30, 31 - 60, 61 - 90, 91 - 120, 121 - 150, 151 - 210 CFU/mL)에 따라 정리하였다. 각 플레이트의 계수 시간을 바탕으로 1 집락 당 평균 계수 시간을 산출하였으며, 육안 계수와 PPRA 계수 간의 효율성을 비교하였다. 정확성 검증을 위하여 계수 값을 $\log_{10}$ CFU/mL로 변환하여 분석하였으며, 두 방법 간 차이가 ±10% 이내인 경우 동등한 결과로 간주하였다. 통계분석은 Minitab (Version 22, LLC, State College, PA, USA)를 사용하여 회귀분석을 수행하였다. 또한 PPRA를 이용하였을 때 절감된 계수 시간을 기반으로 시간 절감율을 산출함으로써, 자동화 장비 도입에 따른 생산성 향상을 평가하였다.

3. 결과

3.1. 육안계수와 PPRA의 계수 정확성 비교

Table 1은 육안계수자 4명(A-D)과 PPRA의 AC와 RAC에 대한 계수 결과를 농도별로 비교한 것이다. AC의 경우, 0-30 CFU/mL 구간에서 실험자별 평균 계수 값은 17-18 CFU로 나타났으며, PPRA와 비교했을 때 $\log_{10}$ CFU값 기준 ±10% 이내에 모두 포함되어 정확

도 100%를 보였다. 동일하게 31 – 60 CFU/mL 구간에서는 평균 45 CFU, 61 – 90 CFU/mL 구간에서는 평균 78.75 – 79 CFU, 91 – 120 CFU/mL 구간에서는 평균 103 CFU, 121 – 150 CFU/mL 구간에서는 평균 134.75 CFU, 151 – 210 CFU/mL 구간에서는 평균 169.5 CFU로 집계되었으며, 모든 구간에서 정확도는 100%를 유지하였다. RAC 에서도 동일한 결과가 확인되었다. 0 – 30 CFU/mL 구간에서 평균 16 CFU, 31 – 60 CFU/mL 구간에서 평균 45 CFU, 61 – 90 CFU/mL 구간에서 평균 79.5 CFU, 91 – 120 CFU/mL 구간에서 평균 105.75 CFU, 121 – 150 CFU/mL 구간에서 평균 134.75 CFU, 151 – 210 CFU/mL 구간에서 평균 175.5 CFU가 관찰되었으며, 모든 실험자와 PPRA의 결과 간에 ±10% 이내의 일치율을 보였다. 결과적으로, 모든 접종 수준에서 육안계수와 PPRA 간에 유의적인 차이는 없었으며(p 〈0.05), 정확도는 100%로 평가되었다. 이는 PPRA가 환자용 식단형 식품의 일반세균 계수에 있어 충분한 신뢰성을 확보하고 있음을 보여준다.

3.2. 접종 농도별 집락 당 평균 계수 시간 변화

Figure 1은 접종 농도에 따른 육안계수와 PPRA의 단일 집락 계수 시간 변화를 나타낸 것이다. 육안계수의 경우 접종 농도와 무관하게 일정한 계수 속도를 유지하였으며, AC에서는 평균 0.258초, RAC plate에서는 평균 0.260초가 소요되었다. 즉, 사람에 의한 계수는 집락 수가 적을 때와 많을 때 모두 거의 동일한 속도를 보였으며, 이는 실

Table 1. Average colony counting and accuracy results at different inoculum levels based on comparison between four human analysts (A–D) and two PPRA devices count. Accuracy was defined as agreement within 10% of log10 CFU counts; 100% accuracy indicates all counts met this criterion.

Plate type	Analysts	Inoculum level											
		Low level				Middle level				High level			
		0–30 CFU/mL		31–60 CFU/mL		61–90 CFU/mL		91–120 CFU/mL		121–150 CFU/mL		151–210 CFU/mL	
		Average CFU	Accuracy (%)	Average CFU	Accuracy (%)	Average CFU	Accuracy (%)	Average CFU	Accuracy (%)	Average CFU	Accuracy (%)	Average CFU	Accuracy (%)
AC[a]	A	17	100	45	100	79	100	102	100	135	100	170	100
	B	18	100	46	100	79	100	103	100	136	100	170	100
	C	17	100	46	100	79	100	107	100	137	100	175	100
	D	17	100	43	100	78	100	100	100	131	100	163	100
	Average	17.25	100	45	100	78.75	100	103	100	134.75	100	169.5	100
RAC[b]	A	16	100	45	100	80	100	107	100	133	100	177	100
	B	16	100	45	100	81	100	108	100	136	100	176	100
	C	16	100	45	100	79	100	105	100	141	100	179	100
	D	16	100	45	100	78	100	103	100	129	100	170	100
	Average	16	100	45	100	79.5	100	105.75	100	134.75	100	175.5	100

[a]Petrifilm® Aerobic Count Plate (AC), [b]Petrifilm® Rapid Aerobic Count Plate (RAC)

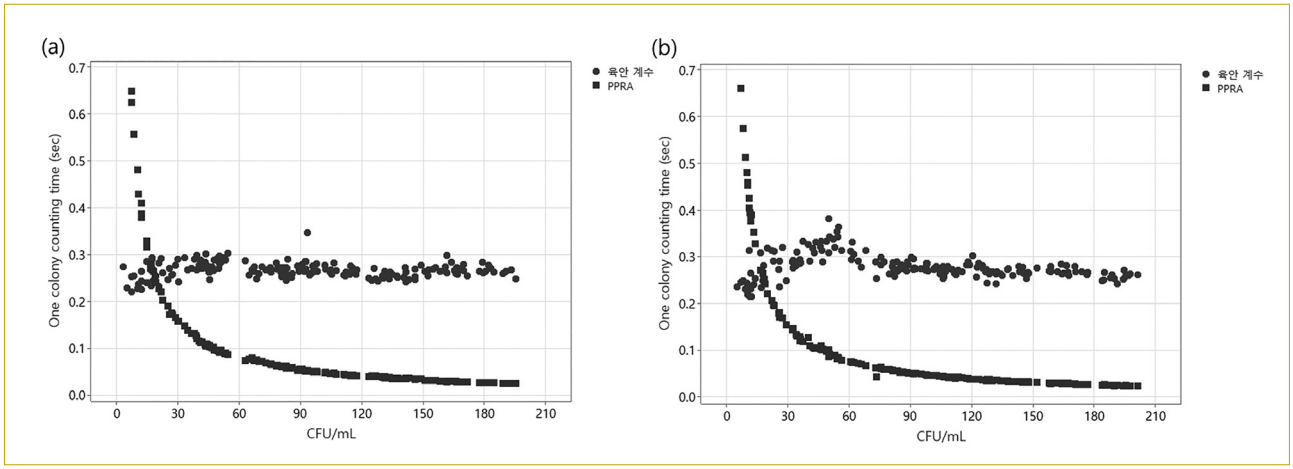

Figure 1. Average single colony counting time curves for four human analysts and two PPRA devices depending on inoculum level in (a) AC and (b) RAC.

험자의 시각적 인지와 손동작 속도에 의해 결정되는 고정적인 패턴임을 보여준다. 반면, PPRA는 다른 경향을 나타냈다. 저농도 구간(≤30 CFU/mL)에서는 오히려 AC에서 0.363초, RAC에서 0.344초가 소요되어 육안계수보다 더 많은 시간이 필요하였다. 이는 자동화 장비의 경우 판독 프로세스에 고정적으로 소요되는 초기 분석 시간이 포함되기 때문에, 집락 수가 적을 경우 상대적으로 효율성이 낮아지는 것으로 판단된다. 그러나 접종 농도가 증가함에 따라 PPRA의 집락 당 소요 시간은 급격히 감소하였으며, 특히 30 CFU 이상부터는 육안계수보다 더 빠른 경향을 보였다. 중농도 구간(31 – 120 CFU/mL)에서는 PPRA의 효율성이 뚜렷해졌다. 예를 들어 61 – 90 CFU/mL 구간에서는 육안계수가 평균 0.259초 수준을 유지한 반면, PPRA는 약 0.080초 내외로 단축되어 약 3배 이상의 속도 향상을 보였다. 91 – 120 CFU/mL 구간에서는 육안계수가 0.260초 전후로 일정한 반면, PPRA는 0.050초 이하로 낮아져 약 5배 이상 빠른 결과를 나타냈다. 특히, 고농도 구간(≥150 CFU/mL)에서는 두 방법 간 차이가 극대화되었다. AC에서 육안계수는 평균 0.262초였으나 PPRA는 0.028초로 약 9.4배의 시간 단축이 이루어졌다. RAC의 경우도 유사한 결과를 보였으며, 육안계수의 평균 0.272초 대비 PPRA는 0.027초로 측정되어 약 10배의 효율성 향상이 확인되었다. 이는 고농도 조건에서 PPRA가 육안계수에 비해 높은 생산성을 제공함을 보여준다. 이와 같은 결과는 저농도에서는 육안계수가 상대적으로 유리하지만, 일정 수준 이상의 집락이 형성되면 자동화 장비의 성능이 크게 발휘됨을 의미한다. 특히 150 CFU 이상과 다량의 집락이 존재하는 플레이트에서는 PPRA가 단일 집락 계수 시간을 거의 0.03초 이하로 단축시켜, 실험자가 동일한 플레이트를 처리하는 데 소요되는 시간을 획기적으로 줄일 수 있다. 따라서 PPRA는 다량 시료 분석이 요구되는 식품 안전 관리나 환자용 식단형 식품의 품질관리 현장에서, 중 · 고농도 시료를 처리할 때 실험 효율성과 생산성을 극대화할 수 있는 대안임이 본 연구를 통해 입증되었다.

3.2. 접종 농도별 PPRA의 시간 절감 효과 분석

시간 절감율 분석 결과는 Table 2에 요약하였다. 먼저 저농도 구간(0 – 30 CFU/mL)에서는 육안계수가 PPRA보다 오히려 더 효율적인 것으로 나타났다. AC에서는 평균 −37.1%, RAC에서는 −33.2%의 시간 절감율을 보여, PPRA가 육안계수보다 시간이 더 소요됨을 확인할 수 있

었다. 이는 자동화 장비의 경우 초기 분석 과정에 일정 시간이 필요하므로, 집락 수가 적은 조건에서는 상대적으로 불리하게 작용하는 것으로 판단된다. 그러나 접종 농도가 증가함에 따라 PPRA의 시간 절감 효과는 뚜렷하게 나타났다. 31 – 60 CFU/mL 구간에서는 AC에서 평균 66.4%, RAC에서 평균 66.5%의 절감율을 보였다. 이는 중 · 저농도 조건에서도 PPRA가 육안계수에 비해 약 3배 가까운 효율성을 나타냈다는 의미이다. 61 – 90 CFU/mL 구간에서는 절감율이 더욱 증가하여 AC에서는 평균 77.7%, RAC에서는 평균 79.1%의 절감 효과가 관찰되었다. 즉, 약 80% 가까운 시간 절약이 가능했으며, 이 시점부터는 자동화 장비의 장점이 본격적으로 두드러지기 시작하였다. 91 – 120 CFU/mL 구간에서는 절감율이 더욱 상승하여, AC에서 평균 83.1%, RAC에서 평균 83.9%로 나타났다. 이는 동일한 플레이트를 처리할 때 PPRA가 육안계수보다 약 6배 빠르게 결과를 제공한다는 것을 의미한다. 고농도 구간으로 갈수록 PPRA의 효율성은 극대화되었다. 121 – 150 CFU/mL 구간에서는 AC에서 평균 86.6%, RAC에서 평균 86.9%의 절감율을 보였으며, 151 – 210 CFU/mL 구간에서는 각각 평균 89.5%와 89.8%의 절감율을 기록하였다. 즉, 플레이트 내 집락 수가 150 CFU/mL 이상일 경우, PPRA는 육안계수 대비 약 10배 가까이 빠른 속도로 계수가 가능하였다. 이와 같이, 30 CFU/mL 이상 구간부터는 PPRA가 평균 65% 이상의 시간 절약 효과를 보였으며, 특히 150 CFU/mL 이상 고농도 구간에서는 절감율이 90%에 근접하였다. 이러한 결과는 플레이트 내 집락 수가 많아질수록 PPRA의 생산성이 기하급수적으로 증가함을 의미한다. 따라서 PPRA는 대량 시료가 발생하는 산업체 품질 관리나 연구실 환경에서, 실험자의 계수 부담을 크게 줄이고 신속한 의사결정을 가능하게 하는 효과적인 대안으로 활용될 수 있다.

요약

본 연구에서는 미생물학적 안전성에 대한 요구도가 높은 FSMPs 중 환자용 식단형 식품인 냉동 가자미살 미역국을 대상으로 AC 및 RAC를 이용하여 일반세균을 검출하고, 육안 계수와 자동계수기인 PPRA의 결과를 비교 · 분석하였다. 첫째, 정확성 평가에서 PPRA는 모든 접

Table 2. Time saving results at different inoculum levels based on comparison between four human analysts (A–D) and two PPRA devices counts.

Time saving (%)											
Inoculum level		Plate type									
		AC[a]					RAC[b]				
		A	B	C	D	Average	A	B	C	D	Average
Low	0–30 CFU/mL	−44.37	−36.63	−46.21	−21.30	−37.13	−44.37	−36.63	−25.13	−26.48	−33.15
Middle	31–60 CFU/mL	64.55	67.43	65.45	68.18	66.40	64.55	67.43	65.34	68.67	66.50
	61–90 CFU/mL	76.33	75.21	79.92	79.50	77.74	76.33	75.21	83.15	81.80	79.12
	91–120 CFU/mL	81.88	81.69	84.41	84.38	83.09	81.88	81.69	86.89	84.98	83.86
High	121–150 CFU/mL	85.14	85.27	88.08	87.78	86.57	85.14	85.27	89.07	88.04	86.88
	151–210 CFU/mL	88.26	88.35	91.06	90.38	89.51	88.26	88.35	91.70	90.88	89.80

[a]Petrifilm® Aerobic Count Plate (AC), [b]Petrifilm® Rapid Aerobic Count Plate (RAC)결론

종 구간(0 – 30, 31 – 60, 61 – 90, 91 – 120, 121 – 150, 151 – 210 CFU/mL)에서 육안계수와의 $\log_{10}$ CFU값 차이가 ±10% 이내로 나타났으며, 정확도는 100%로 확인되었다. 이는 PPRA가 환자용 특수의료용도식품의 일반세균 검출에 있어 기존의 육안계수와 동등한 신뢰성을 확보하고 있음을 의미한다. 둘째, 계수 효율성 비교에서 육안계수는 저농도 구간(≤30 CFU/mL)에서 상대적으로 유리하였으나, 접종 농도가 증가함에 따라 PPRA의 성능이 급격히 향상되었다. 특히 150 CFU 이상 고농도 구간에서는 육안계수의 단일 집락 당 계수 시간이 AC 0.262초, RAC 0.272초였던 반면, PPRA는 각각 0.028초, 0.027초로 약 9.4~10배 더 빠른 것으로 나타났다. 셋째, 시간 절감율 분석에서는 31 – 60 CFU/mL 구간에서 이미 약 66%의 절감 효과가 확인되었고, 농도가 높아질수록 절감율은 지속적으로 증가하였다. 고농도 구간(151 – 210 CFU/mL)에서는 AC에서 평균 89.5%, RAC에서 평균 89.8%의 절감율을 보여, PPRA가 육안계수 대비 약 10배 가까운 생산성을 확보하였다. 이상의 결과를 종합하면, PPRA는 정확성과 재현성을 유지하면서도 중 · 고농도 시료에서 계수 효율성을 향상시킬 수 있는 도구임이 입증되었다. 따라서 본 연구를 통해 PPRA는 식단형 식사관리식품과 같이 미생물학적 안전성이 특히 중요한 식품군의 품질 관리 과정에서, 기존 육안계수를 대체할 수 있는 실용적이고 신뢰성 있는 방법으로 활용될 수 있으며, 식단형 식사관리식품의 안전성 관리 수준을 향상시킬 수 있다. 또한, 다량 시료를 신속하게 처리할 수 있어, 식품제조업체의 자가품질검사, HACCP 관리, 연구실 분석 현장 등에서 생산성 향상 및 실험자의 업무 부담 경감에 크게 기여할 것으로 기대된다.

참고 문헌

1. Kim, G. H., A Survey on Preventive Healthcare Services for Chronic Disease Management in Major Countries. *Health Policy Forum*, 15(2), 92 – 98 (2017).

2. Kang, H. J., Food for Special Medical Purposes: A Global Review of Usage Trends, Regulatory Frameworks, and Key Growth Drivers. *J. Clin. Nutr.*, 213, 6 – 13 (2025).

3. Dataintelo, (2024 February). Food for Special Medical Purpose (FSMP) Market Report, Retrieved from https://dataintelo.com/report/food-for-special-medical-purpose-fsmp-market

4. Food Chemlinked, (2021 February). More imported FMPs are subject to food traceability management in South Korea, Retrieved from https://food.chemlinked.com/news/food-news/more-imported-fmps-are-subject-to-food-traceability-management-in-south-korea

5. Lim, H. J., Choe, S. A., Park, Y. K., Lee, S. Y., Kwon, K., International comparative study of labeling regulations for foods for special medical purposes and implications for regulatory development in Korea. *Food Sci. Ind.*, 58(2), 167–185 (2025).

6. Ministry of Food and Drug Safety. **Food Code**. Cheongju: Ministry of Food and Drug Safety; (2024).

7. Ministry of Food and Drug Safety. *Statistics on Item Manufacturing Reports by Food Type*. MFDS Data Portal; 2025. Available from: https://www.foodsafetykorea.go.kr

8. Food and Drug R&D Issue Report (Foods for Special Medical Use). (2024). Korea Food and Drug Safety Evaluation Institute.

9. Lee, H.Y., Park H.K., The Regulation and Policy of Foods for Special Medical Purpose. *Korean J Community Nutrition*, 12(5), 681–685 (2007).

10. Lim, H. J., Seo, J. M., A Review of Regulatory Systems for Foods for Patients in Korea and Abroad. *Ann. Clin. Nutr. Metab.*, 11(1), 5 – 11 (2019).

11. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), (2024). Food Standards Codex: Microbiological Test Methods – Aerobic Plate Count (General

Bacteria). Retrieved from https://various.foodsafetykorea.go.kr/fsd/#/ext/Document/FC?searchNm=%EB%B0%B0%EC%A7%80%2053&itemCode=FC0A065002003A209

12. Nemati, M. An overview on novel microbial determination methods in food and beverages. *Food Control*, 59, 172–179 (2016).

13. Wang, L., Wu, Z., A simple high-throughput technology for microorganism quantification. *J. Microbiol. Methods*, 206, 106420 (2024).

14. Park, H. K., Kim, H. J., Lee, K. W., et al., Evaluation of Dry Rehydratable Film Method for Detection of Coliform Bacteria and *Escherichia coli*. *Korean J. Nutr. Food Sci.*, 22, 696-700 (2009).

15. Lee, S. H., Mun, K. H., Kim, N. Y., Kim, J. B., Isolation and identification of false positive and false negative strains on coliform dry rehydratable film. *Food Sci. Preserv.*, 26(3), 330-335 (2019).

16. Neogen Corporation. (2024 September). Neogen's® Petrifilm® Plates: Enhancing Lab Efficiency and Sustainability. Neogen Corporation. Retrieved from https://www.neogen.com/en/emeai/neocenter/blog/petri-dish-vs-petrifilm-plates/

17. Neogen Corporation. (2024). Neogen® Petrifilm® Plate Reader Advanced: Automated Colony Counting in 6 Seconds or Less. Neogen Corporation. Retrieved from https://www.neogen.com/en/categories/microbiology/petrifilm-plate-reader-advanced/

18. Kang, S. I., Shin, S. J., Alec, T., Jung, D. W., Hong, S. M., Beom, J. Y., Yu, J. S., Productivity and Accuracy Comparison Study between the 3M™ Petrifilm™ Plate Reader Advanced and a Trained Technician, Using Two 3M™ Petrifilm™ Plate Types. IAFP Annu. Meet. Abstr., 28225 (2022).

19. 3M Hygiene Diagnostics, 3M™ Petrifilm Plate Reader Advanced: Accuracy Comparison Technical Bulletin, (2022).

20. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), (2022 June). Partial Revision of Standards and Specifications of Foods, Notice No. 2022-48,. Retrieved from https://www.mfds.go.kr/brd/m_207/view.do?seq=14802