

식기용 세정제 조성에 있어서 계면물성이 세정력에 미치는 영향

오현주 · 임호선 · 김영호^{*,†}

마마포레스트, *한경대학교 화학공학과
(2019년 12월 2일 접수, 2020년 1월 5일 심사, 2020년 3월 13일 채택)

Effect of Interfacial Properties on the Detergency in Dishwashing Agent Composition

Hyun-Joo Oh, Hyo-Seon Lim, and Young-Ho Kim^{*,†}

Mamaforest, B210-1 Glocal SanHak center, Dankook university, Yongin-si, Gyeonggido 16890, S.Korea

*Department of Chemical engineering, Hankyong National University, Gyonggido 17579, South Korea

(Received December 2, 2019; Revised January 5, 2020; Accepted March 13, 2020)

초 록

식기세정용 세정제의 조성에 따른 오일(O) 및 세정수용액(W)의 계면의 물성에 미치는 영향을 조사하였으며 계면물성에 따른 세정효과를 검토하였다. 또한 각 조성에 따른 식기표면에 오염된 오일의 세정력과 세척 행균 후 오염물 및 세척제의 잔류성에 대한 평가를 하였다. 본 연구에서 사용된 세정제의 조성에 있어서 고체표면에 오염된 오일의 제거는 세척액/오일/고체 간의 계면물성과 깊은 관련이 있었으며, 특히 전진 및 후진 동적접촉각에 크게 의존하였다. 전진 및 후진접촉각이 동시에 낮은 경우에 세정액의 침투성이 매우 커서 고체표면에 오염된 오일의 제거효과가 높았으며 세척 후 오염물의 잔류가 거의 없었다. O/W의 계면장력이 작을수록 오염된 오일의 유화가 잘 되었으며 계면장력이 높을수록 유화가 잘 이루어지지 않았다. 그러나 본 연구에서는 유화효과는 세척력에 크게 영향을 미치지 못하였으며 특히 낮은 계면장력을 갖는 세정제의 경우 세척 후 세정제 물질이 피세척물의 표면에 잔류하는 문제점이 있었다.

Abstract

The effects of the composition of the dishwashing detergent on interfaces of the oil (O) and the aqueous (W) solution in addition to the cleaning effects of interfacial properties were investigated. Also, the cleaning power of the oil contaminated on the surface of the dish according to each composition and the residuals of the contaminants and the cleaning agent after the washing rinses were evaluated. The removal of contaminated oil on the solid (S) surface in the composition of the cleaning agents used in this study was strongly related to the interfacial properties between the W/O/S, and was particularly dependent on the forward and backward dynamic contact angles. When both contact angles were low at the same time, the permeability of the cleaning solution was so high that the contaminated oil showed a high removal effect. The smaller the interfacial tension of O/W was, the better emulsification of the contaminated oil, the higher the interfacial tension, and the poorer emulsification were achieved. However, the emulsification effect did not significantly affect the cleaning power. In particular, in the case of the cleaner having low interfacial tension, the cleaning material remained on the surface of the solid after washing.

Keywords: Detergent, Dishwashing, Interfacial property, Contact angle

1. 서 론

주방용 세제는 식기 설거지와 과일·채소 세척에 사용하는 생활필수품으로, 최근 천연추출물이나 친환경 성분 등의 첨가로 고급화·다양화 되면서 관련 제품의 시장 규모가 점차 커지고 있다. 주방용 세제는 일반 세제와 달리 안전성과 친환경성이 가장 중요하며 이를 위하

여 보다 친환경 물질로 조성을 하여는 연구가 활발해지고 있다[1]. 우리나라의 경우 주방용 세제에 대한 친환경성에 따른 등급을 1, 2 및 3등급으로 분류하여 별도로 정의하고 있다.

그러나 친환경성 물질로 조성하기 위해서 계면활성제 물질을 탈피하고 안정성이 확보된 화합물과 천연물 유래 물질로 조성해야 하는 어려움이 있으며 아울러 핵심 성능인 세척력과 경제성이 확보되어야 하는 문제가 있다[2-6].

세정은 고체 표면에 부착된 친유성 물질을 계면물성을 변화시켜 오염물질을 제거하는 과정이다[7].

즉 세정은 고체 표면으로부터 이물질을 떼어내는 기술로서 이물질로는 오일 및 친유성을 가지는 입자를 효율적으로 제거하는 공정이다[8].

† Corresponding Author: Hankyong National University,
Department of Chemical engineering, Gyonggido 17579, South Korea
Tel: +82-10-8733-5205 e-mail: ynhkim@hknu.ac.kr

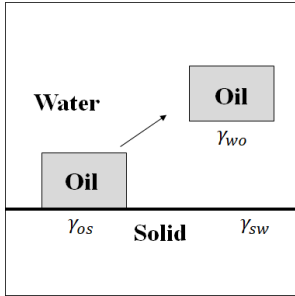


Figure 1. Detachment of a contaminant from the surface.

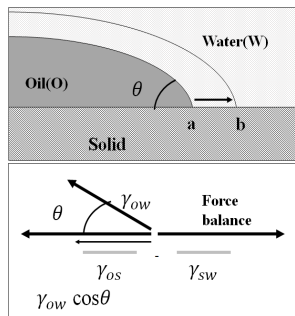


Figure 2. Surface energy balance for the oil/water/solid system.

이러한 떼어냄 기술은 오일과 세정액 및 오일과 고체 표면 간의 계면에너지(장력)를 낮춤으로서 이물질인 오일이 고체 표면에 부착되는 힘을 줄여서 행균 등에 의하여 제거하는 것이다[9].

이러한 계면에너지(장력)의 변화를 주어 세정하는 원리는 다음에 보이는 계면에너지들에 대한 젖음성(접착)의 원리에 관련이 있다[10,11].

1.1. 오염물의 떼어냄에 의한 세정

오염원의 wetting (젖음성)은 고체/액체와 액체/기체 계면 면적의 증가, 액체/기체 계면면적의 감소를 전개계수(spreading coefficient, S)라 하며 이가 0보다 크면 오염원은 고체 표면에 달라붙게 되고 이 값이 작으면 오염물이 탈착하게 된다[12-17].

세정제가 부착된 오염물질(오일)을 고체 표면에서 떼어내는 원리는 세정제를 포함하는 수용액이 오일과 고체표면 사이로 침투하여 오일을 표면에서 들뜨게 하는 원리이며 물성으로는 고체/오일/수용액 간의 표면에너지가 중요하다(Figure 1).

이의 경우 전개계수(S)는 다음과 같으며 세정이 이루어지기 위해서는 전개계수(S)가 0보다 작아야만 한다.

$$S = \gamma_{os} - \gamma_{wo} - \gamma_{sw}$$

실제 오염된 오일은 액적으로서 고체표면에 달라붙어 있다고 보아야 할 것이며 오일과 고체표면 간에는 낮은 접촉각(\theta)을 갖는 상태로 취급된다(Figure 2).

접촉각(\theta)인 액체가 dA만큼 더 확장할 경우 이에 따르는 Gibbs에너지 변화(\Delta G)는

$$\Delta G = (\gamma_{SL} - \gamma_{SG})dA + \gamma_{LG}dA \cos \theta$$

이며 일반적으로 평형상태에서는 \Delta G = 0이므로

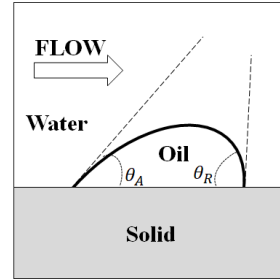


Figure 3. Dynamic contact angles [advancing contact angle (\theta_A) and receding contact angle (\theta_R)].

$$\gamma_{SL} + \gamma_{LG}dA \cos \theta - \gamma_{SG} = 0$$

고체 표면이 액체와 공존하면 액체의 포화증기와 접하는 고체에는 흡착이 일어나고 이차원적 평면에서 Fowkes 다음과 같은 결론식을 유도하였다[18-20].

$$\cos \theta = -1 + 2 \left(\frac{\gamma_s^d}{\gamma_{LG}} \right)^{1/2}$$

즉, 고체의 표면에너지(\gamma_s^d)가 작을수록 그리고 오염물의 계면에너지(\gamma_{LG})가 클수록 접촉각이 크게 되어 세정이 이루어지게 된다. 특히 우수한 세정제는 고체 표면에 달라붙어서 고체 표면에너지를 줄여서 오일을 탈착시키고 행균 이후 세정 물질이 고체 표면에 잔류하지 않아야 한다.

실제 세정은 동적 접촉각으로서 전진 및 후진 접촉각이 매우 중요하며 우수한 세정력을 갖기 위한 조건은 세정제가 식기표면에서 전진 접촉각이 작을수록 그리고 후진접촉각이 클수록 우수한 세정력을 갖는다고 일반적으로 알려져 있다[21-24].

1.2. 유화(solubilization)에 의한 세정

세정의 또 다른 원리는 유화이다[25]. 이러한 세정은 오일이 오염물인 경우에 국한되며 그 원리는 계면활성 물질이 희합체를 이루고 이러한 희합체가 오염물인 오일을 녹여내는 경우이다.

이런 유화에 의한 세정력은 앞에서 보인 계면에너지의 변화에 비해 훨씬 우수한 세정력을 가지게 되는데 이를 위해서 따로 리놀렌산 등과 같은 오염물 오일을 잘 녹이는 특수한 오일을 세정제에 따로 추가하여 유화력을 증가시키는 경우도 많이 있으며 이를 순수계 세정제라고 부른다.

유화에 의한 세정 원리는 다음 Figure 4에 도해적으로 표시하였다.

즉 이는 유화력을 증대시키기 위해서 충분한 계면활성물질이 필요하거나 혹은 순수계 세정제처럼 유화력이 있는 천연오일을 세정제에 함유시켜서 피착물로부터 오염된 오일을 녹여서 떼어내게 하여야 한다. 이를 위해서 각종 효소를 부가하기도 한다.

2. 실험

2.1. 실험재료

본 연구에서 사용한 실험재료는 주방세제로서 다음의 조성에 의한 세정제를 대상으로 하였다. 각 세정제에 대한 대략적인 조성은 Table 1과 같았다. 각 세정제 제조방법은 처방에 의하여 배합비 별로 조성한

Table 1. Composition of Detergent Samples

Sample	compounds
S-1	Sodium citrate, sodium carbonate, corn starch etc.
S-2	Sodium citrate, sodium carbonate, glycerin, lactose etc.
S-3	Sodium citrate, sodium carbonate etc.
S-4	Sodium citrate, sodium carbonate, glycerin, corn starch etc.
S-5	Sodium citrate, sodium carbonate, glycerin etc.
S-6	Sodium citrate, sodium carbonate, salt, glycerin, corn starch etc.

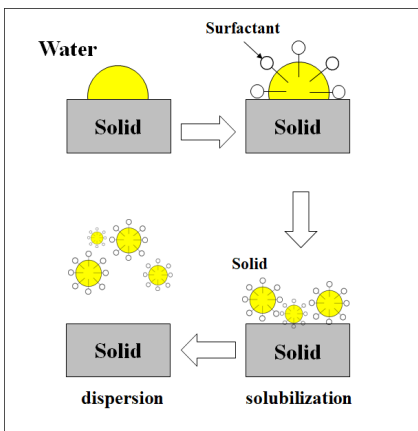


Figure 4. Solubilization of oil from a solid surface by surfactant molecules.

후에 수용액 1 wt% 이상하여 산이나 알칼리를 사용하여 pH를 조절하도록 배합되었다.

오염물은 소기름 및 대두유를 무게비로 50 : 50으로 혼합하여 사용하였다. 소기름 및 대두유는 시중에서 식용으로 사용되는 것으로 정제 없이 그대로 사용하였다. 실험에 사용한 정제수는 증류수 제조기로 1차 정제하여 얻어진 순수를 사용하였다.

주방용 식기 표면에 대응하는 고체 시료는 유리시편을 사용하였다. 유리시편을 사용하는 이유는 대부분 가정용 식기의 표면이 SiO₂ 성분으로 이루어져 있기 때문이다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 계면물성 측정

계면 물성 측정은 크게 계면장력 측정, 동적계면장력 측정, 및 접촉각 측정 등으로 행하여졌다.

2.2.1.1. 계면장력 측정

본 연구에서 오일과 물간의 계면장력 혹은 세정제의 표면장력은 Dunoy Ring 법에 의하여 행하였다[26,27]. 사용된 기기는 KSV사의 계면장력 측정기(Model Sigma-70)를 이용하였다. 모든 측정은 가정용 식기세척기의 조건과 유사하도록 60 °C에서 수행하였다.

2.2.1.2. 접촉각 측정

세정력 평가 및 세정 행균 후 잔류성 평가를 위하여 고체 표면 위에 대한 세정제 액적의 접촉각은 sessible drop 법에 의하여 행하였다[28-30].

우선 식기의 모델로서 유리판을 사용하였으며 세정액 혹은 증류수 액적을 올려서 영상해석 프로그램에 의하여 접촉각을 측정하였다. 사

용된 기기는 First Ten Angustrong 사의 접촉각 측정기(Model FTA-200)를 사용하였다.

2.2.1.3. 동적접촉각 측정

세정력과 계면물성 및 젖음성 등의 상호관계를 알아보기 위하여 동적 접촉각을 측정하였다. 동적 접촉각은 Newman 법에 의하였으며 이를 위하여 일정한 사각형 유리판 시편을 제작한 후 이를 세정액/오일 간에 위치시킨 후에 일정한 속도로 상하 이동하였을 때 측정되는 힘을 이용하여 접촉각을 계산할 수가 있었다[31]. 즉 유리시편이 하강하였을 경우는 전진접촉각(θ_A)이 상승하는 경우에는 후진접촉각(θ_R)이 측정된다.

동적접촉각을 측정하기 위한 기기로는 KSV 사의 동적접촉각 측정기(Sigma-70 model)를 사용하였다.

2.2.2. 세정력 및 표면 잔류성 평가

세정 후 세정력 평가 및 행균 후 표면 잔류성 평가는 다음의 방법에 의하여 평가하였다.

식기표면이 대부분 유리질로 되어 있는 만큼 본 연구에서는 세정력 평가를 유리표면에 대하여 행하였다. 유리표면에 대한 세정력 평가는 다음과 같은 순서 대로 수행하였다.

일단 메틸알콜로 세척한 유리 시편을 50 °C에서 1 h 이상 건조 후 오염물인 오일에 60 °C에서 1 h 이상 담가 두어 오일이 유리표면에 충분히 피착되도록 하였다. 이 후 오일에 오염된 유리시편을 다시 세정제 1 wt% 수용액에 담그고 초음파로 1 h 처리를 하였다. 이후에 시편을 다시 꺼낸 후 순환식 오븐에서 50 °C를 유지하여 1 h 정도 완전히 건조하였다.

이렇게 세정된 시편에 증류수 액적을 표면에 접하게 한 후 접촉각을 측정하여 세정성을 평가하였다. 즉 오일이 세척이 잘될수록 표면이 친유화 되어서 접촉각이 커지게 되며 접촉각이 작을수록 세정성이 크다고 할 수 있다.

세척 및 행균 이후 시편 표면에 대한 잔류물 여부 평가는 다음과 같이 수행하였다. 즉 앞서 세정성을 평가한 시편을 다시 60 °C의 증류수로 일정속도로 흘려서 행균을 하였다. 행균 조건은 60 °C의 증류수를 펌프를 이용하여 일정속도(100 mL/min)로 흐르게 한 후 시편을 30 min간 접촉시켰다. 이후에 시편을 다시 50 °C의 건조오븐에서 1 h 말린 이후 25 °C의 증류수 액적을 시편 위에 올린 후 접촉각을 측정하였다. 측정된 접촉각과 원래 유리시편의 접촉각의 차이로 세정제 혹은 오염물(오일)의 잔류량을 추정하였으며 접촉각이 원래보다 작게 나오는 경우는 세정제가 그리고 크게 나오는 경우는 오염물인 오일 성분이 잔류한다고 추정하였다. 왜냐하면 세정제에는 어떤 오일 성분도 함유되어 있지 않기 때문이다.

2.2.3. 세정제의 오일에 대한 유화성 평가

세정제의 오일에 대한 유화성 평가는 다음 두 가지 방법에 의하였다.

2.2.3.1. 시험관 법

직경 12 mm 길이 150 mm 유리 시험관에 세정제 1 wt% 수용액 5 mL 및 오일 5 mL을 채운 후 각 시험관을 항온수조에 담그고 60 °C에서 1 h 초음파를 가하여 혼합 후에 24 h 동안 방치하였다. 이후 시험관을 꺼낸 후 육안에 의하여 오일과 물간의 계면 및 두 용액의 부피 변화 등을 관찰하여 유화력 평가를 수행하였다.

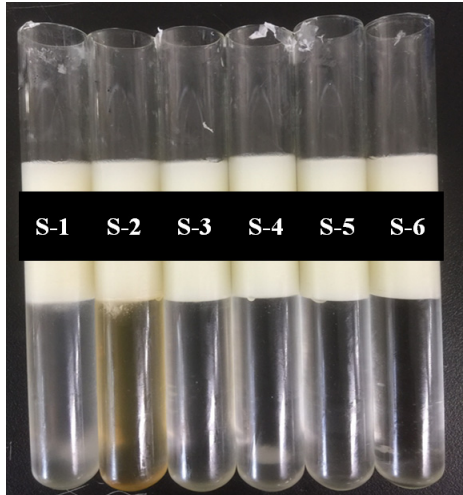


Figure 5. Solubilization results by the bottle test for the various formulations.

2.2.3.2. 유화 수용액의 탁도에 의한 유화력 평가

20 mL 세정 수용액에 오일 1 g을 투입한 후 초음파 호모게나이저 (IKA-T 25)로 60 °C에서 30 min간 균질화 한 후 수용액의 탁도를 측정하였다. 사용된 탁도계는 Hanna Instruments 사의 탁도 측정기(HI 88703)를 사용하였다. 이 경우 유화 이후 탁도가 낮을수록 세정제의 유화력이 크다고 판단하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 세정제별 유화력 시험

3.1.1. 시험관 테스트 결과

각 세정제별 1.0 wt 세정제에 대한 시험관법에 의한 유화 결과는 다음 Figure 5에 보인 바와 같다.

Figure 5에 의하면 S-2 시료의 경우 계면의 형태가 다른 시료에 비하여 뚜렷하지 않으며 일부 오일이 수용액으로 녹아든 것으로 보인다. 또한 오일이 물에 녹아드는 것을 알 수가 있다. 상대적으로 S-5 및 S-6의 경우에는 계면의 비교적 뚜렷하여 유화력은 거의 없는 것으로 판단된다. 전반적으로 유화력은 거의 없는 것으로 판단이 되며 따라서 오일 제거 기작은 유화에 의한 세정보다는 계면에너지 변화에 의한 오염물의 떼어냄 기작에 따를 것으로 예상된다.

3.1.2. 유화 수용액의 탁도에 의한 유화력 평가

이는 20 mL의 세정 용액에 오일을 1 g씩 투입하고 초음파 호모게나이저로 60 °C에서 분산 후 혼합 용액에 대한 투명도를 측정하였다. 투명한 용액이 될수록 오일이 보다 작은 크기로 분산 되서 세정력이 우수할 가능성이 높다고 할 수 있다. 그 결과를 Figure 6에 보였다.

결과적으로 특히 S-3의 경우 오일에 대한 유화력이 매우 우수하였다. 즉 S-3의 경우 유화에 의한 오염물 제거가 뛰어난 것으로 보인다. S-1 및 S-4의 경우는 오일이 에멀전으로 존재하여 분산이 이루어져서 탁도가 S-3에 비하여 상대적으로 높게 나타났다. 그러나 S-5 및 S-6의 경우는 유화력이 거의 없어서 오일과 세정액 간의 층 분리가 발생하였다.

S-1, S-2, S-3, S-4 세정제 수용액에 대한 유화 결과 모습은 Figure 7에 보였다.

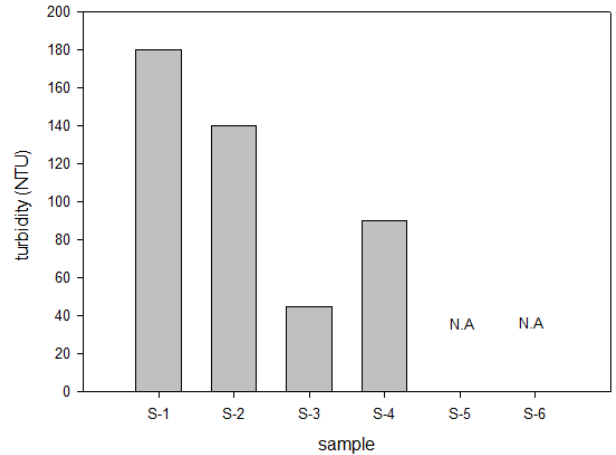


Figure 6. Result of the turbidity test for the oil dispersant experiments.

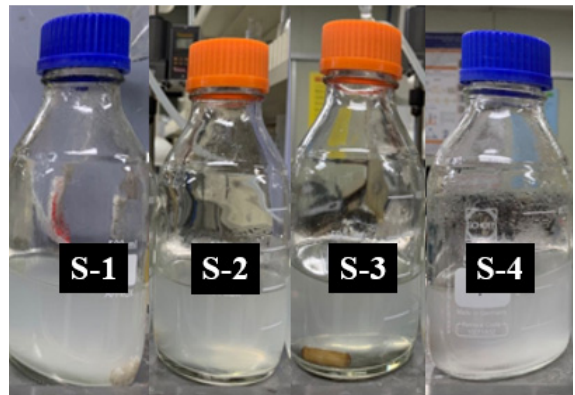


Figure 7. Oil solubilized samples.

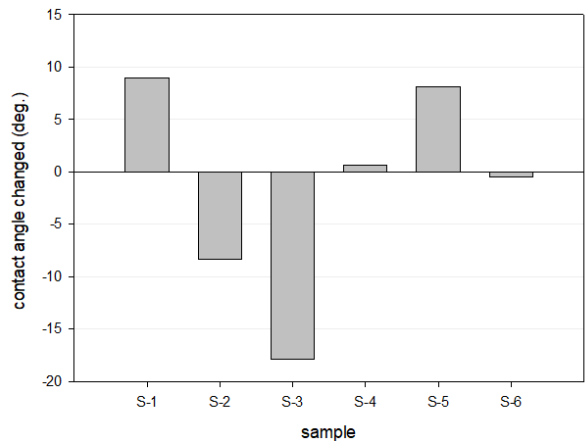


Figure 8. Contact angle differences between the original surface and the final surface after the final washing.

3.2. 세정력 및 헹굼 후 표면잔류성 평가 결과

3.2.1. 세정력 평가 결과

Figure 8에 유리 시편에 대한 오염된 오일의 세정력 평가를 위한 순수 액체에 대한 접촉각 측정 결과를 보였다. 즉 Figure 8은 원시편 접촉각 대비 세정액으로 세척 직후 시편 표면의 접촉각 차이를 보인 것이다.

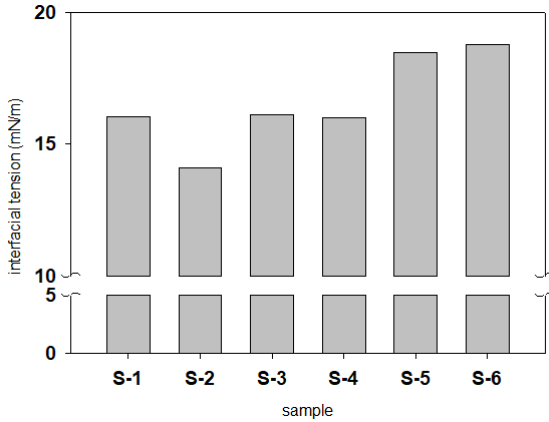


Figure 9. Interfacial tension of oil/water interface for the various cleaning solutions.

접촉각이 양의 수로 높은 경우는 세정 후 오일이 잔류하여 세정이 덜 된 것으로 볼 수가 있다. 음의 수로 높은 경우는 세정 후 세정성분이 표면에 잔류하여 고체 표면을 친수화 시키기 때문이다.

Figure 8의 결과로 보면 오일 세정력은 S-4 및 S-6인 것으로 보인다. 특히 S-6의 경우 오염된 오일의 잔류가 거의 없는 것으로 보인다.

3.2.2. 행굼 이후 시편 표면에 대한 오염물의 잔류성 평가 결과

Figure 8는 행굼 이후 최종 시편의 접촉각 측정결과이다. 이는 원시편 52.4° 대비 접촉각 차이를 그래프로 나타내어 비교한 것이다.

Figure 8의 결과에 따르면 3.1에서 유효력이 가장 우수하였던 S-3의 경우 원시편 대비 표면접촉각이 크게 낮아진 것을 알 수가 있다. 이는 사용되어진 세정제가 유리 표면에 강하게 흡착하여 잔류가 많이 되는 것으로 판단된다. 마찬가지로 유효력이 존재하는 것으로 판단되는 S-2의 경우도 행굼 이후 표면에 상당량 잔류하는 것으로 보인다. S-1 및 S-5의 경우는 세정력이 상대적으로 낮으며 따라서 오염물인 오일이 일부 표면에 존재하여 접촉각이 원시료보다 커진 것으로 판단된다.

그러나 S-4 및 S-6의 경우에는 행굼 이후 원시료 대비 접촉각이 거의 유사하게 회복 되는 것으로 보아서 우수한 세정력과 함께 잔류에 의한 세정제 오염이 없는 것으로 보인다.

3.3 계면 물성 평가

3.3.1. 오일/수용액 간 계면장력 측정 결과

오염물인 오일과 각 세정제 1.0 wt% 수용액에 대한 60 °C에서 계면장력 측정결과를 Figure 9에 보였다.

Figure 9에 보인 바와 같이 각 세제별 계면장력은 각기 다른 값을 보이고 있다. 세정제 2의 경우 상대적으로 제일 낮은 값을 보이고 있으며 따라서 앞에 보인 시험관 법의 의한 유효력 시험에서 오일에 대한 유효력이 유일하게 존재하는 것으로 보인다. S-1, S-3, 및 S-4는 거의 같은 16.X (mN/m)의 값을 가지고 있으며 계면장력에 의한 유효력은 거의 없어 보인다.

특히 S-5 및 S-6의 경우 상대적으로 높은 계면장력을 갖는데 이에 따라서 오일의 유효력 시험에서 유효나 분산력이 없고 층분리가 발생 한 3.1의 결과와 일치한다.

Figure 9에 보인 계면장력 값은 오일 유효력 및 오일의 분산성과 직 접적인 관계가 있는 것으로 보이며 계면장력이 낮을수록 유효력이 크다고 할 수가 있다. 그러나 앞서 보인 유리 표면에서 오일의 세정성과

Table 2. Advancing and Receding Contact Angles for the Water/Air Interface

세정제 시료	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6
전진접촉각(°)	21	32	66	67	73	66
후진접촉각(°)	0	27	0	0	0	0

Table 3. Advancing and Receding Contact Angles for the Water/Oil Interface

세정제 시료	증류수	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6
전진접촉각(°)	56	28	51	54	14	30	0
후진접촉각(°)	42	0	52	0	31	30	0

O/W 간 계면장력과의 관계는 거의 없는 것으로 보인다.

3.3.2. 세정제 수용액/오일/고체 간 전진 및 후진 접촉각 측정 결과
 시편인 유리 표면에 세정제 수용액과 공기 간의 전진 및 후진 접촉 각 최종 측정결과를 다음 Table 2에 보였다. 이 실험은 단순히 세정제가 식기 표면에 얼마나 잘 젖는가를 알아보기 위한 것이다. Table 2에 나타난 것과 같이 시료 S-2를 제외하고는 후진 접촉각이 모두 0으로서 완전 젖음 상태인 것으로 보인다. 그러나 세정액이 밀려가는 증 침투성을 위한 유리 표면에 대한 젖음성인 전진 접촉각의 경우 많은 차이를 보이고 있으며 특히 S-1 및 S-2의 경우 가장 낮은 것을 알 수가 있다.

이의 결과는 앞에서 보인 세척력과 일치하지 않는데 아마도 실제 세정 시스템은 W/O/S 상에서 이루어지는 관계로 이러한 세정액이 피 세척물인 고체 표면에 대한 단순한 젖음성으로는 평가가 불가능함을 의미한다. 즉, 실제 시스템과 유사한 조건인 W/O/S 상에서 동적 접촉 각을 측정하여 평가 해석하여야 함을 알 수가 있다.

실제 세정 시스템인 피세척물 유리 표면이 세정액(W)에 담가진 상태에서 오일과 세정액 그리고 고체 사이에 대한 W/O/S의 동적접촉각을 측정한 최종 결과를 Table 3에 정리하였다.

Table 3의 결과를 보면 S-2의 경우에 후진접촉각이 가장 높게 나타나며 S-4의 경우도 비교적 높은 값을 유지하고 있다. 아마도 후진 접촉각이 큰 이유는 세척 시편이 전진하여 수용액에 젖어서 세척 후에 오염된 오일 성분이 잔류하고 따라서 후진 접촉각이 크게 나타나는 것으로 보인다. 그러나 이러한 측정실험은 실제 세척에 비해 대류가 거의 존재하지 않은 열역학적 평형상태를 유지하여 측정하는 관계로 유체역학적인 와류가 존재하는 경우와는 일치하지 않을 수가 있다.

세정액이 고체표면에 피착된 오일을 침투해 갈 때 가장 중요한 물성은 전진접촉각이다. 이는 세정액이 고체에 피착 되어있는 오일을 밀어내기 때문이기도 하며 Table 3에서 보면 전진 접촉각이 낮은 경우가 S-4의 S-6이다. 즉 전진 접촉각이 낮을수록 열역학 적으로 세정액이 오일과 고체 계면 사이로 침투성이 높은 경우이며 이 경우에 세정 효과가 빠르다.

이는 앞에서 보인 S-4 및 S-6 세정속도의 결과인 Figures 8 및 9의 결과와 일치한다. 특히 S-6의 경우 전진 접촉각이 0으로서 오일과 고체 간에 세정제의 침투가 매우 우수하여 세정력이 매우 높은 것으로 판단되어지며 또한 행굼 후 잔류물질이 존재하지 않은 특성이 있다 (Figure 9).

즉 S-2의 경우 후진접촉각이 큰 이유는 세정제 성분 중에 친유성

성분이 존재하던가 아니면 세척이 안 되어서 오일성분이 잔류하여 세정액이 잘 젖지 않음을 의미한다. 따라서 세척 후 가장 많은 오일이 잔류될 것으로 추정이 가능하며 이는 Figure 9의 결과와도 일치한다.

세정제 S-1의 경우 전진 접촉각이 가장 높게 나타나고 있는 것으로 보아 침투성이 낮아서 세정성이 낮을 것으로 보이며 이는 Figure 8의 결과와도 일치한다.

4. 결 론

1. 본 시험 결과 세척 중 세척 속도와 잔류성 여부를 종합해 보면 세정제 S-4 및 S-6이 우수한 것으로 판단된다. 세정제 S-6의 경우는 계면장력이 너무 높아서 오일을 미세하게 쪼개는 성질이 부족할 것으로 예상되나, 전진 및 후진접촉각이 0에 이를 정도로 세정액 침투력이 강해서 세척 성능이 가장 우수한 것으로 판단된다. 특히 행굼 이후 잔류량이 S-4 및 S-6의 경우에 거의 없는 것으로 고려하면 S-6이 가장 우수한 최적 조합이 될 것으로 보인다.

2. 세정력과 세척 후 오염물 잔류 여부는 계면에너지 값들과 관계가 깊으며 특히 전진 및 후진 접촉각의 크기에 관련되어 있다. 이 중 전진 접촉각이 세정액의 침투성을 의미하므로 전진접촉각과 세정성 사이에 직접적인 관계가 있었다. 또한 후진 접촉각은 행굼 후 오일 등의 잔류성과 관계가 있을 것인 하나 실제 대류가 존재하는 행굼 상황과는 차이가 있을 것으로 보인다.

3. 세정제 적용 후 오일과 물간의 계면장력이 작을수록 오일을 분산시키는 성질이 강하다. 그러나 본 연구에서 사용된 높은 O/W 계면장력을 갖는 세정제의 경우는 오염물 제거가 유효력과는 관계가 크게 없어서 계면장력 값과 세척력 간에 직접적인 관계가 없는 것으로 보인다. 또한 낮은 계면장력을 갖는 세정제일수록 표면 활성이 강한 경우가 대부분이므로 따라서 세척 후 피세척물인 고체시료 표면에 잔류하는 경향이 상대적으로 강하여 행굼 후 잔류성이 있는 것으로 보인다.

References

1. J. Falbe, *Surfactants in Consumer Products: Theory, Technology and Application*, 1st ed., 14-18, Verlag GmbH & Co, NY, USA (1986).
2. K. Kou, *New Surfactant*, 1st ed., 19, Sehwa Publishing, Japan (1983).
3. D. Myers, *Surfactant Science and Technology*, 1st ed., 11-12, VCH Publishers Inc., NY, USA (1988).
4. M. J. Rosen, *Surfactant and Surface Phenomena*, 1st ed., 3-4, Kodansa Science Technology, Japan (1988).
5. D. Myers, *Surfaces, Interfaces, and Colloids*, 1st ed., 25-27, VCH Publishers Inc., NY, USA (1990).
6. D. Myers, *Surfaces, Interfaces, and Colloids*, 1st ed., 30-33, VCH Publishers Inc., NY, USA (1990).
7. J. Falbe, *Surfactants in Consumer Products: Theory, Technology and Application*, 14-18, Verlag GmbH & Co, NY, USA (1986).
8. D. Attwood and A. T. Florence, *Surfactant Systems Their Chemistry, Pharmacy and Biology*, 40-49, Chapman and Hall, NY, USA (1983).
9. K.-Y. Lai, *Liquid Detergents*, 43, Marcel Dekker, Inc., NY, USA (1996).
10. R. N. Wenzel, Resistance of solid surfaces to wetting by water, *Ind. Eng. Chem.*, **28**, 988-994 (1936).
11. A. B. D. Cassie and S. Baxter, Wettability of porous surfaces, *Trans. Faraday Soc.*, **40**, 546-551 (1944).
12. W. D. Harkins and A. Feldman, Films. the spreading of liquids and the spreading coefficient, *J. Am. Chem. Soc.*, **44**(12), 2665-2685 (1922).
13. R. Amin and T. N. Smith, Interfacial tension and spreading coefficient under reservoir conditions, *Fluid Phase Equilib.*, **142**(1-2), 231-241 (1998).
14. H. W. Fox and W. A. Zisman, The spreading of liquids on low energy surfaces. I. polytetrafluoroethylene, *J. Colloid Sci.*, **5**(6), 514-531 (1950).
15. H. W. Fox and W. A. Zisman, The spreading of liquids on low-energy surfaces. III. Hydrocarbon surfaces, *J. Colloid Sci.*, **7**(4), 428-442 (1952).
16. D. T. Wasan and A. D. Nikolov, Spreading of nanofluids on solids, *Nature*, **423**(6936), 156-159 (2003).
17. C.-M. Lehr, H. E. Boddé, J. A. Bouwstra, and H. E. Junginger, A surface energy analysis of mucoadhesion II. Prediction of mucoadhesive performance by spreading coefficients, *Eur. J. Pharm. Sci.*, **1**(1), 19-30 (1993).
18. L. E. Baker, A. C. Pierce, and K. D. Luks, Gibbs energy analysis of phase equilibria, *Soc. Pet. Eng. J.*, **22**(05), 731-742 (1982).
19. D. S. Abrams and J. M. Prausnitz, Statistical thermodynamics of liquid mixtures: A new expression for the excess Gibbs energy of partly or completely miscible systems, *AIChE Journal*, **21**(1), 116-128 (1975).
20. C. C. Chen, H. I. Britt, J. F. Boston, and L. B. Evans, Local composition model for excess Gibbs energy of electrolyte systems. Part I: Single solvent, single completely dissociated electrolyte systems, *AIChE Journal*, **28**(4), 588-596 (1982).
21. M. Morra, E. Occhiello, and F. Garbassi, Contact angle hysteresis in oxygen plasma treated poly(tetrafluoroethylene), *Langmuir*, **5**, 872-876 (1989).
22. N. Ogawa, M. Soga, Y. Takada, and I. Nakayama, Nanostructured superhydrophobic surfaces, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **32**, 35876-3591 (1993).
23. M. Miwa, A. Nakajima, A. Fujishima, K. Hashimoto, and T. Watanabe, Effects of the surface roughness on sliding angles of water droplets on superhydrophobic surfaces, *Langmuir*, **16**, 5754-5760 (2000).
24. O. Takai, A. Hozumi, Y. Inoue, and T. Komori, An atomic force microscopy study of the surface morphology of hyperbranched poly(acrylic acid) thin films, *Bull. Mater. Sci.*, **20**, 1368-1371 (1997).
25. M. S. Akhter, Effect of solubilization of alcohols on critical micelle concentration of non-aqueous micellar solutions, *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Asp.*, **157**(1-3), 203-210 (1999).
26. R. Gamez-Corrales, J.-F. Berret, L. M. Walker, and J. Oberdisse, Shear-thickening dilute surfactant solutions: Equilibrium structure as studied by small-angle neutron scattering, *Langmuir*, **15**(20), 6755-6763 (1999).
27. J.-R. Riba and B. Esteban, A simple laboratory experiment to measure the surface tension of a liquid in contact with air, *Eur. J. Phys.*, **35**(5), 055003 (2014).
28. R. G. Picknett and R. Bexon, The evaporation of sessile or pendant drops in still air, *J. Colloid Interf. Sci.*, **61**(2), 336-350 (1977).
29. A. F. Stalder, T. Melchior, M. Müller, D. Sage, T. Blu, and M. Unser, Low-bond axisymmetric drop shape analysis for surface tension and contact angle measurements of sessile drops, *Colloids*

- Surf. A: Physicochem. Eng. Asp.*, **364**(1-3), 72-81 (2010).
30. O. I. del Rio and A. W. Neumann, Axisymmetric drop shape analysis: Computational methods for the measurement of interfacial properties from the shape and dimensions of pendant and sessile drops, *J. Colloid Interf. Sci.*, **196**(2), 136-147 (1997).
31. D. Tennant, A test of a modified line intersect method of estimating root length, *The Journal of Ecology*, 995-1001 (1975).