

실험 계획법을 이용한 투명비누에 영향을 미치는 폴리올 농도 결정

조완구[†]

[†]전주대학교 대체의학대학 기초의과학과
(2012년 1월 31일 접수 ; 2012년 2월 20일 수정 ; 2012년 2월 22일 채택)

Determination of Polyol Concentration Affecting to the Transparent Bar Soap Using Design of Experiment Method

Wan-Goo Cho[†]

[†]*College of Alternative Medicine, Jeonju University,
Hyoja-Dong, Wansan-Gu, Jeonju, 560-759, Korea
(Received January 31, 2012 ; Revised February 20, 2012 ; Accepted February 22, 2012)*

요 약 : 본 실험에서는 투명비누를 만드는데 사용되는 폴리올의 최적 농도를 실험계획법을 이용하여 결정하였다. 짧은 사슬을 보유한 디프로필렌글리콜과 1,3 부틸렌글리콜은 비누의 투명도를 증가시켰으나 폴리에틸렌글리콜 400, 글리세린과 디글리세린은 비누를 불투명하게 하였다. 프로필렌글리콜, 디글리세린, 디프로필렌글리콜 및 폴리에틸렌글리콜의 농도를 증가시키면 비누의 경도는 증가하였다. 경도, 투명도, 물의 흡수성 및 마찰 용해도는 디프로필렌글리콜, 폴리에틸렌글리콜, 설탕과 트리에탄올아민의 농도를 조절하여 최적화할 수 있었다.

Abstract : In this experiment, the optimum concentration of polyols which were used for making transparent soaps was determined using design of experiment (DOE) method. Dipropylene glycol and 1,3 butylene glycol with short chains enhanced the transparency of soap, however, polyethylene glycol 400, glycerin and diglycerin made the soap opaque. The hardness of soap was increased as increasing the concentration of propylene glycol, diglycerin, dipropylene glycol and polyethylene glycol 400. The hardness, transparency, absorbance of water, and friction solubility could be optimized by controlling the concentration of dipropylene glycol, polyethylene glycol, sugar, and triethanolamine.

Keywords : soap, polyol, transparency, absorption of water, hardness.

[†]주저자 (E-mail : wgcho@jj.ac.kr)

1. 서론

비누는 고급지방산의 알칼리염을 말하며, 주로 $C_{12}\sim C_{18}$ 지방산의 나트륨염, 칼륨염, 아민염이다. 비누 원료로서는 유지와 지방산이 이용되며 유지는 식물이나 동물 등에서 얻을 수 있고 화학적으로는 트리글리세라이드라는 물질이 주성분을 이루고 있다[1,2]. 투명비누는 일반 비누와 같이 고급지방산의 알칼리염을 주성분으로 하지만 외관이 투명한 것이 특징이다. 투명비누는 성형방법 및 숙성 방식에 따라 구분할 수 있다. 성형 방법으로는 기계 성형에 물리적 처리를 가해 투명도를 내는 방법과, 에탄올, 물, 당류를 첨가해서 투명도를 얻는 틀 성형법이 있다. 기계 성형에 의한 제조방법은 유리 같은 투명도를 얻기가 어렵고, 공정의 특성상 성형상에서의 일정 경도를 부여하기 위해 처방의 제약이 있지만, 대량생산이 가능한 장점이 있다. 한편, 틀 성형법으로는 높은 투명도의 비누를 제조할 수 있고 소량제조가 가능하다. 투명비누의 제조방법은 숙성방법에 따라 1개월 이상의 장시간 숙성이 요구되는 숙성법과 1~3일간의 단기적인 숙성만을 하는 비숙성법으로 나눌 수 있는데, 이에 따라 적용되는 처방이 다르다[3-6]. 일반적으로 투명비누는 염석공정을 행하지 않고 제조하므로, 생성된 글리세린이 비누 중에 남아 투명화를 돕는다. 투명비누는 먼저 반응기에 유지와 지방산, 정제수, 에탄올을 넣어 가온, 교반하면서 알칼리용액을 서서히 가해 비누화 또는 중화를 행한다. 비누화의 경우는 $60\sim 80^{\circ}\text{C}$ 에서 수 시간에 걸쳐 반응을 완료시킨 후, 당류, 폴리올류를 첨가해 완전히 용해시킨 다음, 유리된 알칼리 성분이 미량 잔존하도록 조정한다. 마지막으로 첨가제를 넣고, 물과 에탄올의 함량을 미세 조정하여 냉각관 또는 원하는 모양의 틀에 이송하여 냉각, 결정화시킨다. 이 공정에서 너무 급격하게 냉각하거나 숙성시의 온도가 너무 높으면 투명도가 떨어지는 문제점이 있으므로 주의할 필요가 있다. 투명비누는 투명화제 및 기타 첨가제가 배합되고 있기 때문에 비누의 함유량은 일반 비누보다도 작다. 한편 투명비누는 외관적으로 미적 요소가 높을 뿐만 아니라, 보습제로서 글리세린 및 당류가 배합되고 있기 때문에 피부의 보호 작용이 우수하고, 사용감이 부드러운 특징이 있다 [7].

본 연구에서는 실험계획법을 사용하여 투명비누 제조에서 투명도, 경도, 마찰 용해도, 수분 흡수도 및 용출도를 결정하는 폴리올류의 최적 함량의 조건을 찾고자 실험 계획법을 이용하여 투명화제로 사용되고 있는 폴리올을 중심으로 한 재료와 마딤성, 투명도 및 기포력 등의 물성간의 관계들을 효율적으로 검토하였다[8]. 전개 과정은 기본 처방을 기준으로 하여 폴리올을 최적화 시켜 실험하였으며, 각 단계는 재료를 선별하고, 선별 DOE 및 부분 배치법을 통해 유의한 인자(재료)를 검토하고, 검토된 재료를 최적화 한 뒤, 반복 실험을 통해 물성을 검증하는 과정으로 진행하였다.

2. 실험

2.1. 시약

시료는 Table 1에 나타낸 것과 같은 화장품용 등급의 재료를 사용하였다. 증류수는 Milli-Q(Millipore Co., Milford, MA, USA) 장치를 통과시킨 것을 사용하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 비누 제조

비누는 Table 2의 기본 비누에서 폴리올(polyol)의 종류별 함량을 변화하여 70°C 로 가열하여 용해시키고, 실온으로 냉각하는 방법을 사용하였다.

2.2.2. 투과도(Transparency, T) 측정

비누 시편의 두께를 2 cm로 절단하고, 색차계(Model:CR300, Minolta, Japan)를 사용하여, 가시광선의 투과율을 측정하였다. 투과율은 각각 초기 상태와 물에 침적한 후의 상태에서 모두 측정하였다.

2.2.3. 경도(Hardness, H) 측정

비누 시편의 두께를 3 cm로 절단하고, Fodoh Rheometer(RT-2002J, Fodoh, Japan)를 사용하여 최대 하중값을 스펙들 번호 3번으로 측정하였다.

Table 1. Materials for Experiments

*INCI name	Abbreviation	Manufacture Co.
Lauric acid	LA	Acid Chem(Japan)
Myristic acid	MA	Acid Chem(Japan)
Palmstearic acid	PSA	LG H&H(Korea)
Isostearic acid	ISA	Koku Alcohol(Japan)
Dipropylene glycol	DPG	SK Chem(Korea)
Polyethylene glycol 400	PEG 400	Dow Corning(USA)
Lauryl myristyl diethanolamide	LMDE	Cognis(Germany)
Sodium lauryl ether sulfate	SLES	Cognis(Germany)
Tetrasodium EDTA	EDTA 4Na	AKZO(Netherlands)
Sodium chloride	NaCl	Hanju(Korea)
Sugar	Sug	Nihon Junyaku(Japan)
Sodium hydroxide	NaOH	Dongnam Chem(Korea)
Fragrance		Nipa(Japan)
Propylene glycol	PG	Dow(USA)
Glycerin	Gly	LG H&H(Korea)
Diglycerin	Digly	Sakamoto Yakuhin Kogyo(Japan)
1.3 Butylene glycol	BG	Daicel (Japan)
Sorbitol	Sor	LG H&H(Korea)
Triethanolamine	TEA	Koreacatalyst(Korea)

*INCI: International Dictionary of Cosmetic Ingredient.

Table 2. Formulation of Base Soap

INCI name	Concentration(wt. %)
LA	8.0
MA	8.0
PSA	12.0
NaOH	9.4
SLES (70%)	6.0
LMDE	5.0
NaCl	1.0
Polyol	34.5
D. I. Water	16.1

2.2.4. 마찰 용해도(Friction solubility, F) 측정

비누 시편을 밑면이 가로x세로 각 3x1 cm로 시편을 제작하고, 마찰 용해도 기기(Taber 5135, Taber)를 사용하여 40°C에서 10분간 작동 시킨 후 무게 변화를 측정하였다.

$$\text{마찰 용해도 (\%)} = (W_b - W_a) / 3 \times 100$$

[W_b : before, W_a : after]

2.2.5. 흡수도(Absorption of water, A) 측정

비누 시편을 밑면이 가로x세로x높이가 각각 7x4x3 cm로 시편을 제작하여, 비이커에 1 L 물을 채운 후 4시간 동안 침적한 후 무게 변화를 측정하였다.

$$\text{흡수도 (\%)} = (W_2 - W_1) / W_1 \times 100$$

[W₁:비누 초기 무게, W₂:4시간 물 침적 후 비누 무게]

2.2.6. 용출도(Dissolution, D) 측정

비누 시편이 가로x세로x높이가 각각 7x4x3 cm로 시편을 제작하여, 흡수도 측정 후 팽윤된 부분을 제거한 후 무게 변화를 측정하였다.

$$\text{용출도 (\%)} = (W_3 - W_1) / W_1 \times 100$$

[W₁:비누 초기 무게, W₃:Swelling 부분 제거 후 비누 무게]

3. 결과 및 고찰

3.1. 폴리올의 수분 보유능 및 수분 흡수능 측정

투명 비누를 제조하기 위해 사용되는 투명화제는 비누의 결정 구조를 미세하게 하여 투명성을 나타내는 재료로 대부분 하이드록실기를 가지며, 원형의 분자 구조를 가지는 폴리올류나 당류 등이 주로 사용되고 있다[9-15]. 그 대표적인 예가 TEA, Gly, Sug 등이다. 이러한 투명화제는 사슬의 길이, 가지 구조, 하이드록실기의 수에 따라 비누의 투명도, 마딤성, 또는 비누 사용 중의 용출도에 크게 영향을 미친다.

본 실험에서는 투명화 정도의 최적화에 앞서 10종류의 재료를 선정하여, 각 원료의 수분 보유능 및 수분 흡수 능력의 실험을 실시하였다. 실험은 재료를 30.0 wt% 수용액으로 제조한 후 105°C 적외선 수분계에서 10분 간격으로 무게 변화를 정량하여, 무게 감소율을 살펴본 결과 분자구조가 선형이고 사슬이 짧은 것이 무게 감소율이 크므로 수분 보유능력이 작은 것으로 나타나 물이 가장 감소율이 컸으며 Sug가 가장 감소율이 적었다.

수분흡수 능력은 재료 원액을 상온에서 습도 90% 이상인 데시케이터에 보관 후 정기적으로 무게 변화를 정량하여, 무게 변화율을 살펴본 결과 분자구조가 선형이고, 사슬이 짧은 것이 무게 증가율이 크므로 외부의 수분과 결합 능력이 커서 비누 사용 시 습도가 높은 조건에서 용출이 쉽게 일어나 발한 현상이 발생할 것으로 판단된다. Fig. 1은 시간에 따른 폴리올의 중량 증가율을 나타낸 그림으로 PG > BG > DPG >> Glycerin » TEA > PEG 400 > Digly >> Sorb » Sug >> Water 와 같은 순서를 보였다.

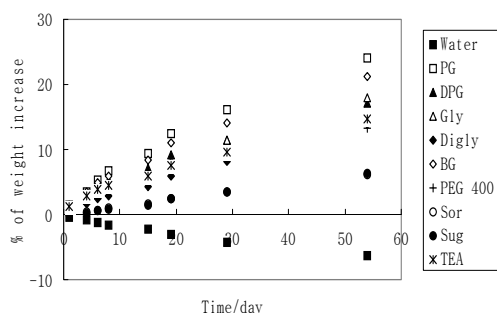


Fig. 1. Weight increasing rate of polyols against time.

발한 현상의 개선을 위해서는 수분 보유 능력이 크고, 수분 흡수 능력은 분자량이 작고 부피가 크며, 사슬이 긴 투명화제 검토가 필요할 것으로 판단되었다. 그러나 투명화제의 1차적인 목적은 투명화에 있으며, 투명도는 사슬이 짧고, 부피가 크며 하이드록실기 수가 많을수록 우수하므로, 적정의 투명화 조성 최적화를 위해, 실험계획법을 이용하여 각 재료와 물성간의 영향 관계를 살펴보고자 하였다.

3.2. 폴리올 농도 변화에 따른 비누의 물성 평가

실험 계획법을 설계하기 위해서 10종의 재료를 동시에 디자인하기 위해서는 수준의 범위가 작으므로 물성과의 영향을 파악하기 위하여 2단계로 진행하였다. 또한 각 단계별 수준을 설정할 때 함량에 따라 제조상의 어려움, 즉 Gly, Digly, PEG 400, Sor의 함량이 많은 경우 중화할 때 점도가 상승됨으로 적정 수준 설정이 중요하였다.

Table 3에 미니탭의 DOE 메뉴에서 생성된 2수준 요인 실험 계획과 각 실험결과로 얻어진 투명비누의 물성 값을 제시하였다. 여기서, run order는 실험계획 후 실험 실시에 따른 랜덤순서를 의미하고, 실험에 포함되지 않은 인자의 효과를 줄이기 위해 실험계획의 실행 순서가 랜덤화 되었음을 의미한다. 중심점은 추가하지 않았고(center Pt =1), 여건상 실험을 시간적, 공간적으로 분할하지 않았으므로 블록을 잡지 않았다(block = 1). 실험결과로부터 얻어진 정규 확률도와 파레토(Pareto) 차트를 Fig. 2에 normal probability plot를 Fig. 3에 제시하였다.

Table 4의 요인분석 결과와 같이 사슬이 짧고, 가지가 있는 DPG, 1,3 BG는 함량 증가에 따라 투명도가 증가하였고, 사슬이 긴 PEG 400은 함량 증가에 따라 투명도가 감소하는 경향을 나타냈으며, Gly과 Digly은 함량 증가에 따라 급격한 투명도 감소를 나타냈다. PG, DPG, Digly, BG, PEG 400 등의 폴리올은 함량 증가에 따라 경도가 증가하는 것으로 나타났다. PG, DPG, Gly, BG, PEG 400 등의 폴리올은 함량 증가에 따라 마찰용해도가 증가하였으며, 사슬이 짧은 PG, DPG 등은 마찰용해도 증가 폭이 크게 나타났고 흡수도는 모든 폴리올들이 함량이 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 폴리올들이 물과의 친수성이 크므로, 물에

Table 3. 2³ Factorial Design for Determining the Key Factors Affecting the Properties of Soap

Std Order	Run Order	Center Pt	Blocks	PG	DPG	Gly	Digly	BG	PEG 400	T	H	F	A
1	1	1	1	3	3	3	8.5	8.5	8.5	0.13	1.61	121.7	2.01
2	2	1	1	8.5	3	3	3	3	8.5	2.94	1.08	115.3	4.83
3	3	1	1	3	8.5	3	3	8.5	3	7.38	1.09	115.3	4.75
4	4	1	1	8.5	8.5	3	8.5	3	3	0.41	1.26	135.7	5.70
5	5	1	1	3	3	8.5	8.5	3	3	0.30	0.79	75.0	7.02
6	6	1	1	8.5	3	8.5	3	8.5	3	0.21	1.33	142.3	4.50
7	7	1	1	3	8.5	8.5	3	3	8.5	0.14	1.25	152.7	2.55
8	8	1	1	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	0.03	1.67	153.0	-1.13

T; Transparency, H; Hardness, F; Friction solubility, A; Absorption of water.

Table 4. Key Factors Affecting the Properties of Soap

	Characteristics	PG	DPG	Gly	Digly	BG	PEG 400
Transparency	Larger the better	L	L	H	H	L	L
Hardness	Nominal the best	L	L	L	L	H	H
Friction solubility	Nominal the best	H	H	L	L	L	H
Absorption of water	Nominal the best	L	H	L(H)	L	H	H

H: significant factor, L: not significant factor.

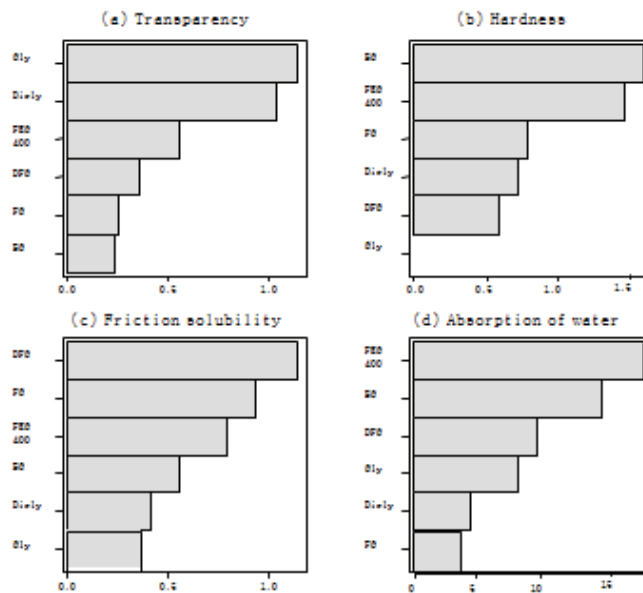


Fig. 2. Pareto chart of the standardized effects.

Table 5. 2³ Factorial Design for Determining the Key Factors Affecting the Properties of Soap

Std Order	Run Order	Center Pt	Blocks	DPG	Gly	PEG 400	Sug	Sor	TEA	T	H	F	A	D
1	1	1	1	2	2	2	8.5	8.5	8.5	0.3	0.3	105.3	9.4	-28.3
2	2	1	1	8.5	2	2	2	2	8.5	15.7	0.7	118.7	1.5	-7.4
3	3	1	1	2	8.5	2	2	8.5	2	0.1	0.1	66.3	20.6	-9.5
4	4	1	1	8.5	8.5	2	8.5	2	2	0.3	0.4	103.7	10.6	-20.5
5	5	1	1	2	2	8.5	8.5	2	2	0.2	0.4	81.0	7.3	-8.2
6	6	1	1	8.5	2	8.5	2	8.5	2	15.9	1.0	124.0	2.7	-4.5
7	7	1	1	2	8.5	8.5	2	2	8.5	15.1	1.3	115.3	6.2	-5.0
8	8	1	1	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	0.2	1.3	132.3	-0.6	-19.4

T; Transparency, H; Hardness, F; Friction solubility, A; Absorption of water, D; Dissolution.

Table 6. Key Factors Affecting the Properties of Soap

	Characteristics	DPG	Gly	PEG 400	Sug	Sor	TEA
Transparency	Larger the better	L	L	L	H	L	L
Hardness	Nominal the best	H	L	H	L	L	H
Friction solubility	Nominal the best	H	L	L	L	L	H
Absorption of water	Nominal the best	H	H	H	H	H	H
Dissolution	Nominal the best	L	L	H	H	L	L

H: significant factor, L: not significant factor.

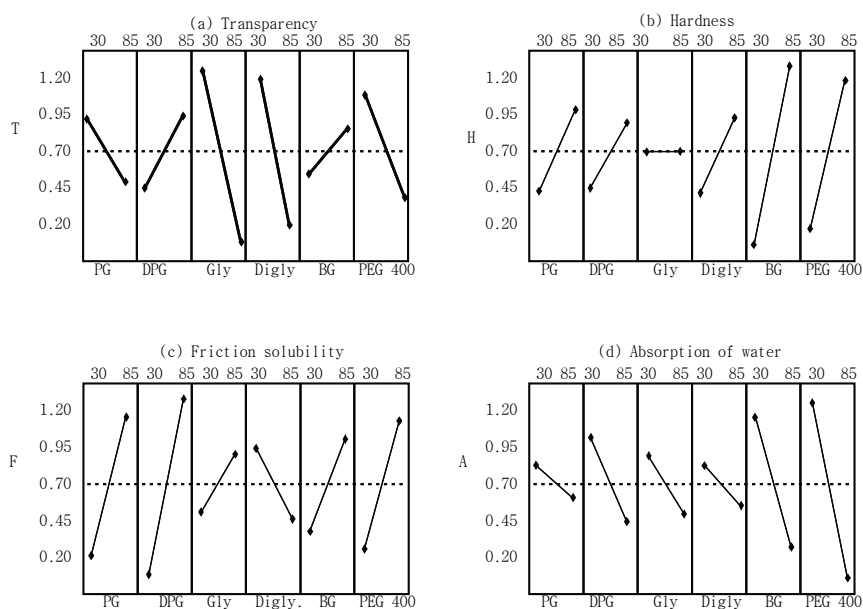


Fig. 3. Normal probability plot.

쉽게 용해되어 흡수되는 것보다 용출되는 것이 많기 때문인 것으로 판단된다.

1차 선별한 폴리올과 추가로 선정된 폴리올을 사용하여 같은 방법으로 2차 선별한 결과를 Table 5, 6과 Fig 4, 5에 나타냈다. DPG, TEA 등이 투명도 증가에 영향이 있으며, PEG 400이 경도 증가에 영향이 큰 것으로 나타났다. 사슬이 짧은 DPG, TEA 등은 함량 증가에 따라 마찰용해도가 급격하게 증가하였으며, 흡수도와 용출도는 유사한 경향을 나타냈다. 투명화제는 공정에 따른 특성을 나타냈는데, 액상 투명화제는 제조 공정에 큰 어려움이 없지만, 고형인 Sug는 물에 완전히 용해시킨 후 투입하여야 하며, 용해가 잘 되지 않을 경우 흰색 반점 생성의 원인 되어 불투명의 원인이 불투명으로 변하기 때문에 투명도가 불균일하게 나타날 수도 있다. TEA는 온도에 민감하고, Sor는 중화제인 NaOH에 의해 변색 영향이 크므로 중화 후에 투입하는 것이 바람직하였다.

변수의 목표 값을 만족시키는 인자를 찾기 위해 반응 최적화 도구(Response optimizer)를 수행하였는데, 여기서 폴리올의 농도를 결정하

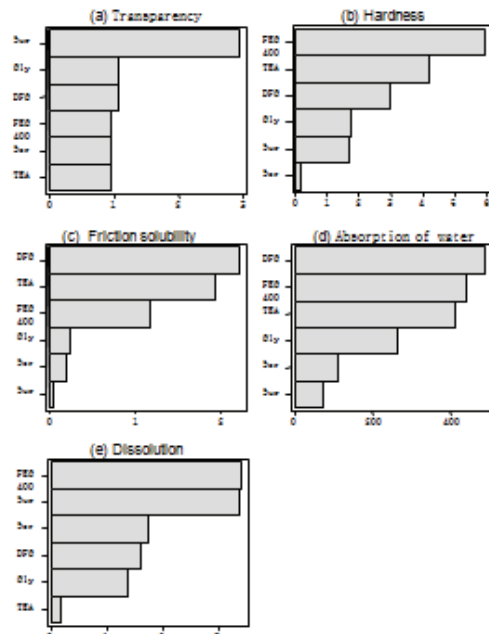


Fig. 4. Pareto chart of the standardized effects.

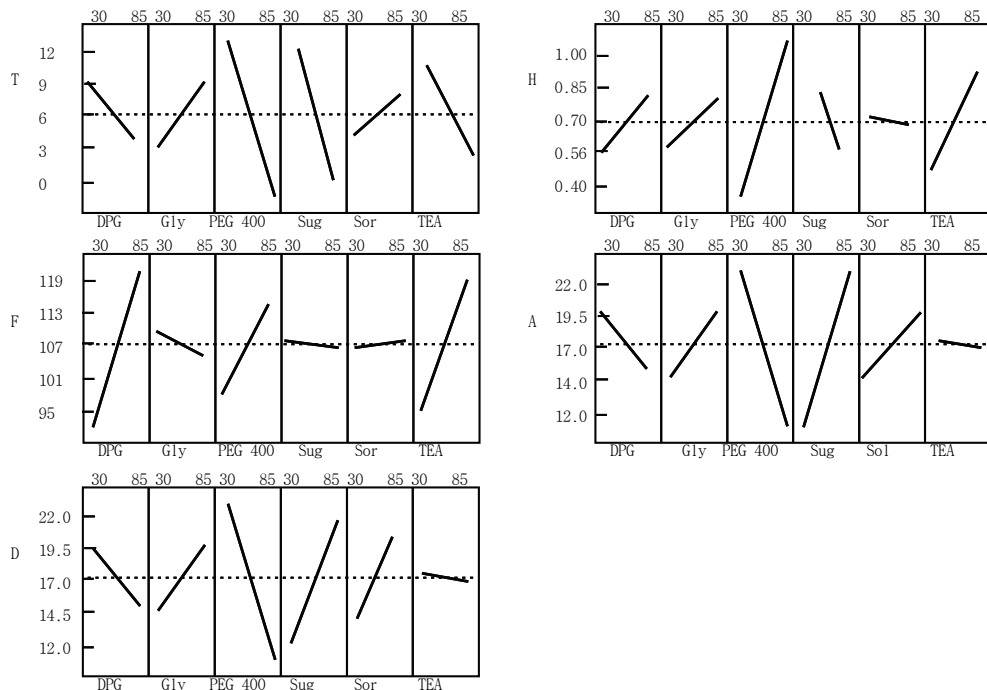


Fig. 5. Normal probability plot.

기 위해 최적화 도구를 수행하였다. 최종 선정된 4종 즉 DPG, PEG 400, Sug, TEA의 투명화제의 최적화에 의한 결과를 Fig. 6에 나타냈고 그 조성은 Table 7에 나타냈으며 일반 비누의 물성 기준치 내로 전반적인 물성이 우수하였다.

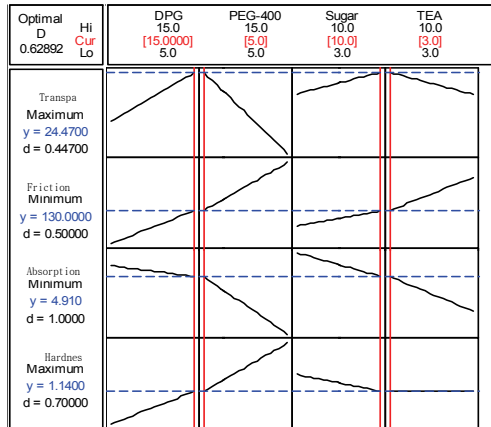


Fig. 6. Result from the response optimizer regarding composition of polyols.

Table 7. Optimizing Formula of Transparent Soap

INCI name	Concentration(wt. %)
LA	8.0
MA	8.0
PSA	12.0
NaOH	9.4
SLES (70%)	6.0
LMDE	5.0
NaCl	1.0
DPG	15.0
PEG 400	5.0
Sug	10.0
TEA	3.0
EDTA 4Na	0.1
Fragrance	0.5
D.I. Water	17.0

Table 8. Results of Properties of Transparent Soap Prepared from Table 7

Item	Transparency	Hardness	Friction solubility	Absorption of water	Dissolution
Property	25.3	1.3	110	5	-20

3.3. 최적화 처방 된 비누의 물성 평가

Table 7의 최적화된 처방으로 제조된 비누의 물성 측정 결과를 Table 8에 나타냈다. 투과도, 경도, 마찰용해도, 흡수도 및 용출도 등에서 일반 비누의 물성 기준치 내로 우수한 결과를 보였다.

4. 결론

실험계획법을 이용한 투명비누의 폴리올 농도 실험 결과로부터 하기의 결론을 얻었다.

- 1차 선별한 6종의 폴리올 중 사슬이 짧고, 가지가 있는 DPG, BG는 함량 증가에 따라 투명도가 증가하며 사슬이 긴 PEG 400은 함량 증가에 따라 투명도가 감소하였으며, Gly과 Digly은 함량 증가에 따라 급격한 투명도 감소를 나타냈다.
- PG, DPG, Digly, BG, PEG 400은 함량 증가에 따라 경도가 증가하였다.
- PG, DPG, Gly, BG, PEG 400은 함량 증가에 따라 마찰용해도가 증가하였고 사슬이 짧은 PG, DPG 등은 마찰용해도의 증가 폭이 크게 나타났다.
- 흡수도는 폴리올의 농도가 증가하면 감소하는 것으로 나타났으며, 이는 폴리올이 친수성이 크므로 물에 쉽게 용해되어 흡수 되는 것보다 용출되는 것이 많은 것으로 나타났다.
- 2차 선별한 결과, DPG, TEA 등이 투명도 증가에 영향이 있으며, PEG 400은 경도 증가에 영향이 큰 것으로 나타났다.
- 사슬이 짧은 DPG, TEA 등은 함량 증가에 따라 마찰용해도가 급격하게 증가하였으며, 흡수도와 용출도는 유사하였다.
- DPG, PEG 400, Sug, TEA의 투명화 반응 최적화에 대한 조성은 전반적으로 다른 폴리올과 비교하여 물성이 우수하였다.

참고문헌

1. Y. S. Kang, K. Y. Kyung, M. J. Rang, D. H. Bae, Y. G. Lee, W. G. Cho, S. G. Choi, and S. G. Han, *Cosmetics and Household Product Science*, vol. **2**, 168, *Shin Kwang Press*, Seoul (2008).
2. V. Luzzati, H. Mistacchi, and A. Skoulios, Structure of the Liquid-crystal Phases of the Soap-water System: Middle Soap and Neat Soap, *Nature*, **180**, 600 (1957).
3. M. L. Lynch, Y. Pan, and R. G. Laughlin, Spectroscopic and Thermal Characterization of 1:2 Sodium Soap/Fatty Acid-soap Crystals, *J. Phys. Chem.*, **357**(1), 100 (1996).
4. M. L. Lynch, F. Wireko, M. Tarek, and M. Klein, Intermolecular Interactions and the Structure of Fatty Acid-soap Crystals, *J. Phys. Chem. B*, **105**(2), 552 (2001).
5. R. W. Corkery, Metal Organic Framework (MOF) Liquid Crystals. 1D, 2D and 3D Ionic Coordination Polymer Structures in the Thermotropic Mesophases of Metal Soaps, Including Alkaline Earth, Transition Metal and Lanthanide Soaps, *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.*, **13**, 288 (2008).
6. G. S. Hattiangdi, M. J. Vold, and R. D. Vold, Differential Thermal Analysis of Metal Soaps, *Ind. Eng. Chem.*, **41**, 2320 (1949).
7. M. Friedman and R. Wolf, Chemistry of Soaps and Detergents: Various Types of Commercial Products and their Ingredients, *Clin. Dermatol.*, **14**(1), 7 (1996).
8. S. H. Shin, E. G. Chang, D. H. Lee, and S. Y. Kim, Determination of Main Factors Affecting the Electrodialysis of Succinate by using Design of Experiment Method, *J. Kor. Ind. Eng. Chem.*, **19**(2), 179 (2008).
9. V. H. Tran, T. P. Nguyen, and P. Molinie, Polaron Mechanism in the Thermal Stabilization of Polyvinyl Chloride, Part I: Metal Soaps and Secondary Stabilizers, *Polym. Degrad. Stab.*, **44**(2), 151 (1994).
10. J. Demetrulias, N. Corbin, and H. North-Root, The Hairless Mouse as a Model for Quantitating Skin Deposition of 3,4,4-trichlorocarbanilide in Bar Soap, *Toxicol. Lett.*, **22**(2), 241 (1984).
11. X. Wang and M. Rackaitis, Gelling Nature of Aluminum Soaps in Oils, *J. Colloid Interface Sci.*, **331**, 335 (2009).
12. B. Lin, A. V. McCormick, H. T. Davis, and R. Strey, Solubility of Sodium Soaps in Aqueous Salt Solutions, *J. Colloid Interface Sci.*, **291**, 543 (2005).
13. R.C. Mehrotra and A.K. Rai, Studies in Heavy Metal Soaps-II Molecular Weights of Aluminium Soaps, *Polyhedron*, **24**(8), 961 (1962).
14. J. C. Lin, M. H. Nien, and F. M. Yu, Morphological Structure, Processing and Properties of Propylene Polymer Matrix nanocomposites, *Composite Structures*, **71**(1), 78 (2005).
15. V. Nardello, N. Chailloux, G. Joly, and J. Aubry, Preparation, Amphiphilic Properties and Lyotropic Phase Behaviour of New Surfactants Based on Sodium Monoalkyl α, ω -dicarboxylates, *Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp.*, **288**(1-3), 86 (2006).