혼합물 설계를 이용한 최적의 친환경 제설제 제조

김지선 반경운 염호성

동아대학교 산업경영공학과

▶ 주제선정 및 목적

겨울철 이용되고 있는 염화칼슘 제설제로 인해 아스팔트 도로, 자동차의 타이어, 하천 등의 오염이 유발된다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 염화칼슘 제설제의 제설효과는 유지하되 그에 따른 오염을 막기 위한 친환경적인 제설제를 만들기 위한 최적의 조합(비율)을 찾아보고자 한다.

▶ 현재 상황 - 염화칼슘

염화칼슘 5g을 사용하여 얼음 50g을 녹이는 실험

→

녹는시간(초) – 1,540초
PH농도 – 4.0(중성6기준)
비용 – 1g당 22.88원

▶ 실험방법 & overview

각 요인들의 합이 100%가 되는 실험 이므로 혼합물 실험을 선택하여 실험 하였다.
동일한 조건(얼음의 양, 굳기)으로 통제된 환경(온도 :영하8도)에서 각각의 혼합물들의 제설효과와 PH농도를 측정하고 측정값을 Minitab을 이용하여 분석한다.

OVERVIEW

#	내용	실험방법
Step1. 정성적 스크리닝	많은 요인들 중 전문가의 자문을 통해 중요하지 않은 요인들 제거	전문가의 견해 및 자문
Step2. 정량적 스크리닝	걸러진 요인들 중 비교적 실험횟수가 적은 설계를 통해 정량적 분석으로 중요 요인들 도출	혼합물 설계 : 격자도1, 중심점과 축점 추가, 반복 x → 17번의 실험횟수
Step3. 최적화 실험	Vital few X's들을 통해 최적의 비율 도출	혼합물 설계 : 격자도3, 중심점과 축점 2추가, 반복 x→ 30번의 실험횟수

▶ 실험순서

#	실험내용
1	친환경 제설제 재료 조사 및 선정
2	스크리닝 실험 (정성적, 정량적) 및 결과
3	최적화 실험 및 결과
4	반응최적화 도구사용 및 결과 분석
5	재현실험 및 결론 도출

1. 재료선정

여러 가지 조사 결과 유기산이 제설에 효과적이라는 정보를 얻을 수 있었다. 이에 흔히 구할 수 있는 몇 가지 유기산을 선정하였다. 또한 전문가의 자문을 구한 결과 가정의 갖가지 재료들도 제설에 효과가 있다고 하여 가정에서 쉽게 구할 수 있는 재료를 포함하여 진행하였다.

→ 선정 결과 : 소금, 설탕, 미원, 소다, 구연산, 옥살산, 초산, 주석산, 개미산, 염화칼슘 도출

2. 스크리닝 실험 - 정성적

요인의 수가 많아 각각의 개별적인 실험이 불가하여 정량적 실험을 진행하기 앞서 본 대학의 화학공학과 교수님의 자문을 얻어 정성적 스크리닝 실험을 시행하였다.

→ 정성적 스크리닝 결과 : 구연산, 주석산을 제외한 소금, 설탕, 미원, 소다, 옥살산, 초산, 개미산 도출

2-1. 스크리닝 실험 - 정량적

실험 시 주의 사항

- 얼음의 양(50g), 혼합 제설제의 양(5g)은 동일
- 간이 아이스박스내의 온도는 일정하게 유지(-8℃)
- 얼음이 완전한 액체가 되기까지의 시간을 초단위로 측정
- PH농도는 PH 측정기로 측정
- 환경적으로 통제가 불가능한 factor를 고려하여 4시간 이내에 실험을 종료

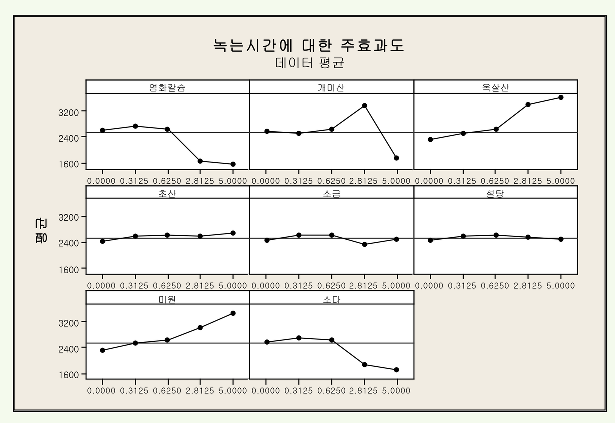
Mixture Design : 식품과 약품 및 화학물질을 이용한 제품 개발 시에 사용하는 각 성분의 최적 성분비를 찾아내기 위한 실험계획법의 한 종류로써, 요인배치법이나 RSM으로는 해결 할 수 없는 성분비 결정 문제를 해결 할 수 있는 기법.

정량적 스크리닝 실험 설계

표준 순서	런 순서	점 유형	블럭	염화칼슘	개미산	옥살산	초산	소금	설탕	미원	소다	녹는시간
15	1	-1	1	0.3125	0.3125	0.3125	0.3125	0.3125	2.8125	0.3125	0.3125	2548
17	2	-1	1	0.3125	0.3125	0.3125	0.3125	0.3125	0.3125	0.3125	2.8125	1870
8	3	1	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	5.0000	1719
16	4	-1	1	0.3125	0.3125	0.3125	0.3125	0.3125	0.3125	2.8125	0.3125	3027
7	5	1	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	5.0000	0.0000	3471
10	6	-1	1	2.8125	0.3125	0.3125	0.3125	0.3125	0.3125	0.3125	0.3125	1642
4	7	1	1	0.0000	0.0000	0.0000	5.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	2684
11	8	-1	1	0.3125	2.8125	0.3125	0.3125	0.3125	0.3125	0.3125	0.3125	3352
6	9	1	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	5.0000	0.0000	0.0000	2480
5	10	1	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	5.0000	0.0000	0.0000	0.0000	2481
2	11	1	1	0.0000	5.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1744
3	12	1	1	0.0000	0.0000	5.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	3622
1	13	1	1	5.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1540
13	14	-1	1	0.3125	0.3125	0.3125	2.8125	0.3125	0.3125	0.3125	0.3125	2685
12	15	-1	1	0.3125	0.3125	2.8125	0.3125	0.3125	0.3125	0.3125	0.3125	3386
14	16	-1	1	0.3125	0.3125	0.3125	0.3125	2.8125	0.3125	0.3125	0.3125	2349
9	17	0	1	0.6250	0.6250	0.6250	0.6250	0.6250	0.6250	0.6250	0.6250	2632

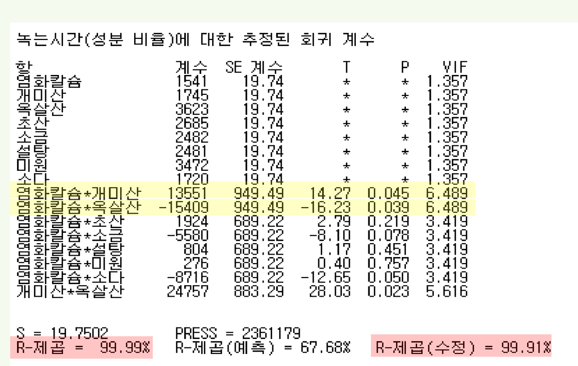
실험횟수를 20번 이하로 제한하였고 제설제의 고유의 목적인 제설효과 즉, 녹는 시간(초)만 고려하였다.

2-2. 스크리닝 실험 결과



주효과도 확인 시 염화칼슘, 개미산, 옥살산, 미원, 소다가 녹는 시간에 영향을 주는 것으로 판단되었다.

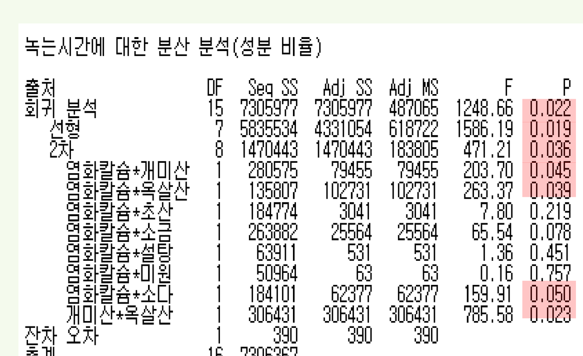
정량적으로 수치화된 분석결과를 확인하기 위해 2차항 분석으로 결과 분석하였다. 실험의 횟수가 적고 요인이 많아 하나씩 풀링 하여 결과 분석.



녹는시간(성분 비율)에 대한 추정된 회귀 계수

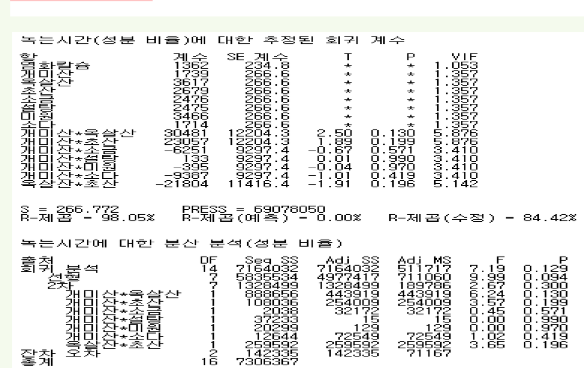
항	계수	SE 계수	T	P	VIF
염화칼슘	1541	19.74	*	*	1.357
개미산	1745	19.74	*	*	1.357
옥살산	3623	19.74	*	*	1.357
초산	2685	19.74	*	*	1.357
소금	2482	19.74	*	*	1.357
설탕	2481	19.74	*	*	1.357
미원	3472	19.74	*	*	1.357
소다	1720	19.74	*	*	1.357
염화칼슘*개미산	13551	949.49	14.27	0.045	6.489
염화칼슘*옥살산	-15409	949.49	-16.23	0.039	6.489
염화칼슘*초산	1924	689.22	2.79	0.219	3.419
염화칼슘*소금	-5580	689.22	-8.10	0.078	3.419
염화칼슘*설탕	804	689.22	1.17	0.451	3.419
염화칼슘*미원	276	689.22	0.40	0.757	3.419
염화칼슘*소다	-8716	689.22	-12.65	0.050	3.419
개미산*옥살산	24757	883.29	28.03	0.023	5.616

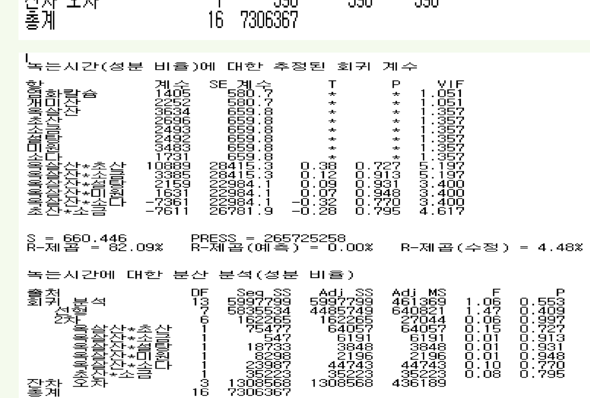
S = 19.7502 PRESS = 2361179
R-제곱 = 99.99% R-제곱(예측) = 67.68% R-제곱(수정) = 99.91%



녹는시간에 대한 분산 분석(성분 비율)

출처	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
회귀 분석	15	7305977	7305977	487065	1248.66	0.022
선형	7	5835534	4331054	618722	1586.19	0.019
2차	8	1470443	1470443	183805	471.21	0.036
염화칼슘*개미산	1	280575	79455	79455	203.70	0.045
염화칼슘*옥살산	1	135807	102731	102731	263.37	0.039
염화칼슘*초산	1	184774	3041	3041	7.80	0.219
염화칼슘*소금	1	263882	25564	25564	65.54	0.078
염화칼슘*설탕	1	63911	531	531	1.36	0.451
염화칼슘*미원	1	50964	63	63	0.16	0.757
염화칼슘*소다	1	184101	62377	62377	159.91	0.050
개미산*옥살산	1	306431	306431	306431	785.58	0.023
잔차 오차	1	390	390	390		
총계	16	7306367				



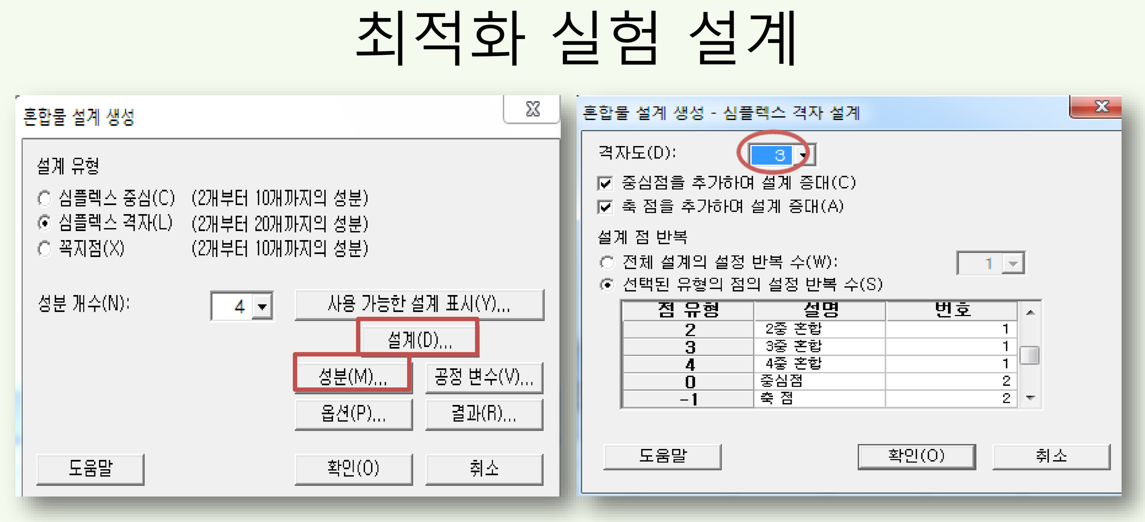


정량적 스크리닝 결과 : 유의하지 않은 P-value를 제외하여 총 8가지의 요인들 중 유의한 요인 4가지(염화칼슘,개미산,옥살산,소다)가 도출되었다.

3. 최적화 실험

최적화 실험에서는 녹는 시간뿐만 아니라, 친환경적 요소(PH농도)를 같이 고려하여 실험을 진행하였다.

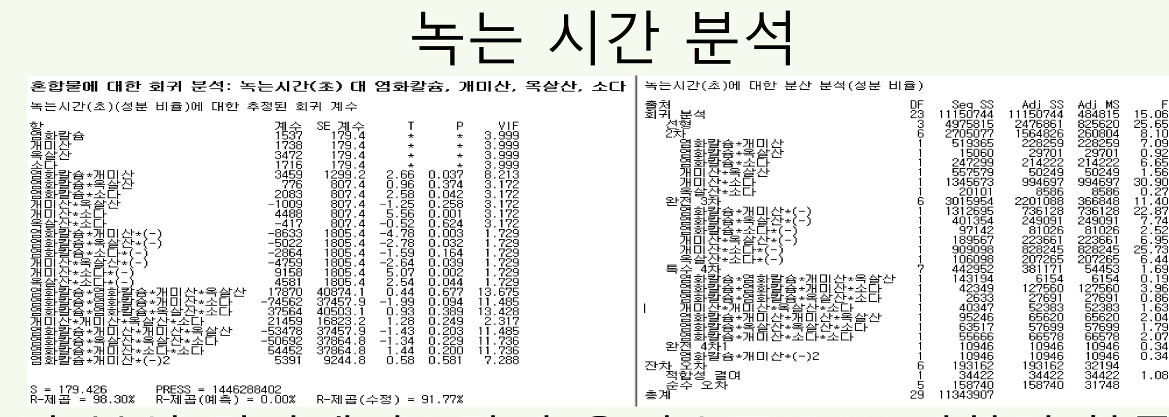
최적화 실험 설계



StdOrder	RunOrder	PtType	블록	염화칼슘	개미산	옥살산	소다	녹는시간(초)	PH농도
26	1	0	1	1.25000	1.25000	1.25000	1.25000	2601	5.0
8	2	2	1	1.66667	0.00000	3.33333	0.00000	3375	1.5
12	3	2	1	0.00000	3.33333	1.66667	0.00000	1743	1.0
29	4	-1	1	0.62500	0.62500	3.12500	0.62500	3371	1.5
7	5	3	1	1.66667	1.66667	0.00000	1.66667	2470	5.5
13	6	2	1	0.00000	3.33333	0.00000	1.66667	3410	3.0
27	7	-1	1	3.12500	0.62500	0.62500	0.62500	1664	5.0
21	8	0	1	1.25000	1.25000	1.25000	1.25000	2632	4.5
17	9	1	1	0.00000	0.00000	5.00000	0.00000	3475	1.5
19	10	2	1	0.00000	0.00000	1.66667	3.33333	1873	7.5
2	11	2	1	3.33333	1.66667	0.00000	0.00000	1870	1.5
22	12	-1	1	3.12500	0.62500	0.62500	0.62500	1642	2.0
3	13	2	1	3.33333	0.00000	1.66667	0.00000	1986	1.5
18	14	2	1	0.00000	0.00000	3.33333	1.66667	3137	7.0
11	15	1	1	0.00000	5.00000	0.00000	0.00000	1741	1.0
5	16	2	1	1.66667	3.33333	0.00000	0.00000	3216	1.0
28	17	-1	1	0.62500	3.12500	0.62500	0.62500	2867	2.0
20	18	1	1	0.00000	0.00000	0.00000	5.00000	1719	9.0
30	19	-1	1	0.62500	0.62500	0.62500	3.12500	2455	3.0
16	20	2	1	0.00000	1.66667	0.00000	3.33333	2046	3.5
15	21	3	1	0.00000	1.66667	1.66667	1.66667	2854	3.0
23	22	-1	1	0.62500	3.12500	0.62500	0.62500	2968	3.5
4	23	2	1	3.33333	0.00000	0.00000	1.66667	1851	5.0
1	24	1	1	5.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1540	4.0
24	25	-1	1	0.62500	0.62500	3.12500	0.62500	2974	2.0
10	26	2	1	1.66667	0.00000	0.00000	3.33333	2335	4.5
9	27	3	1	1.66667	0.00000	1.66667	1.66667	2291	1.5
14	28	2	1	0.00000	1.66667	3.33333	0.00000	3026	1.5
25	29	-1	1	0.62500	0.62500	0.62500	3.12500	2070	6.0
6	30	3	1	1.66667	1.66667	1.66667	0.00000	2108	2.0

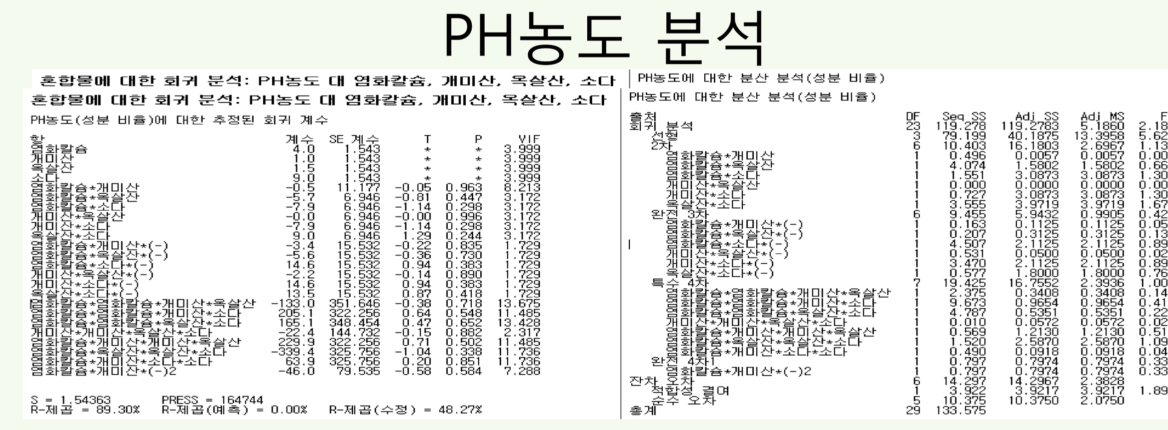
3-1. 최적화 실험(결과 분석)

녹는 시간 분석



각 분석 결과에서 P값이 유의수준(0.05)이하인 항목은 유의 하다고 판단.

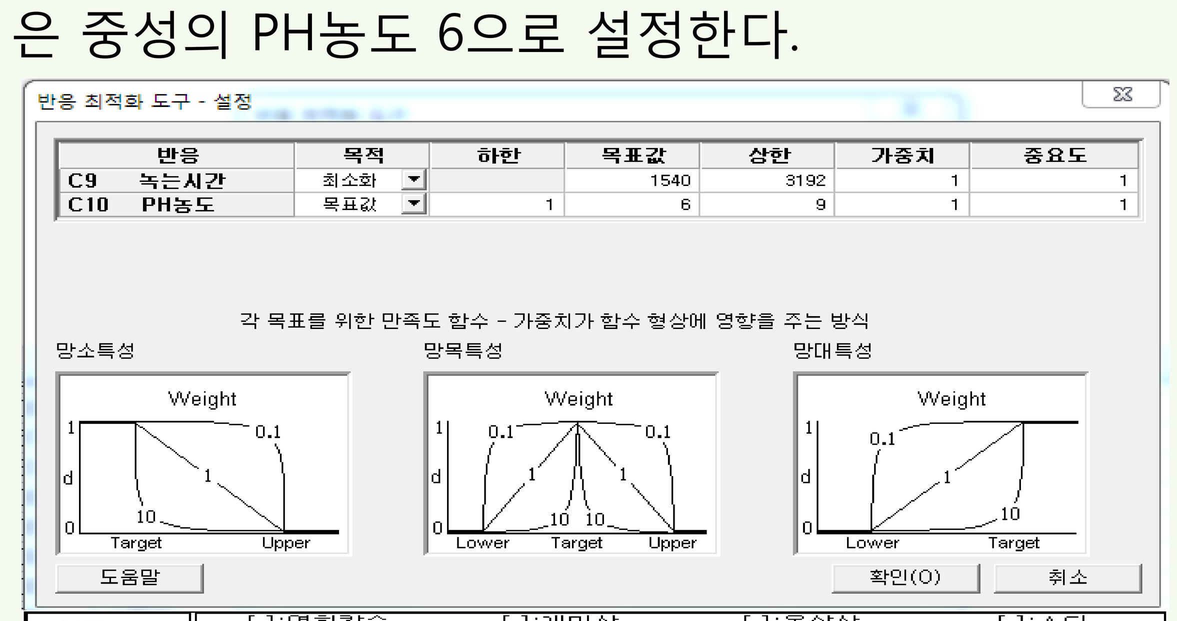
PH농도 분석

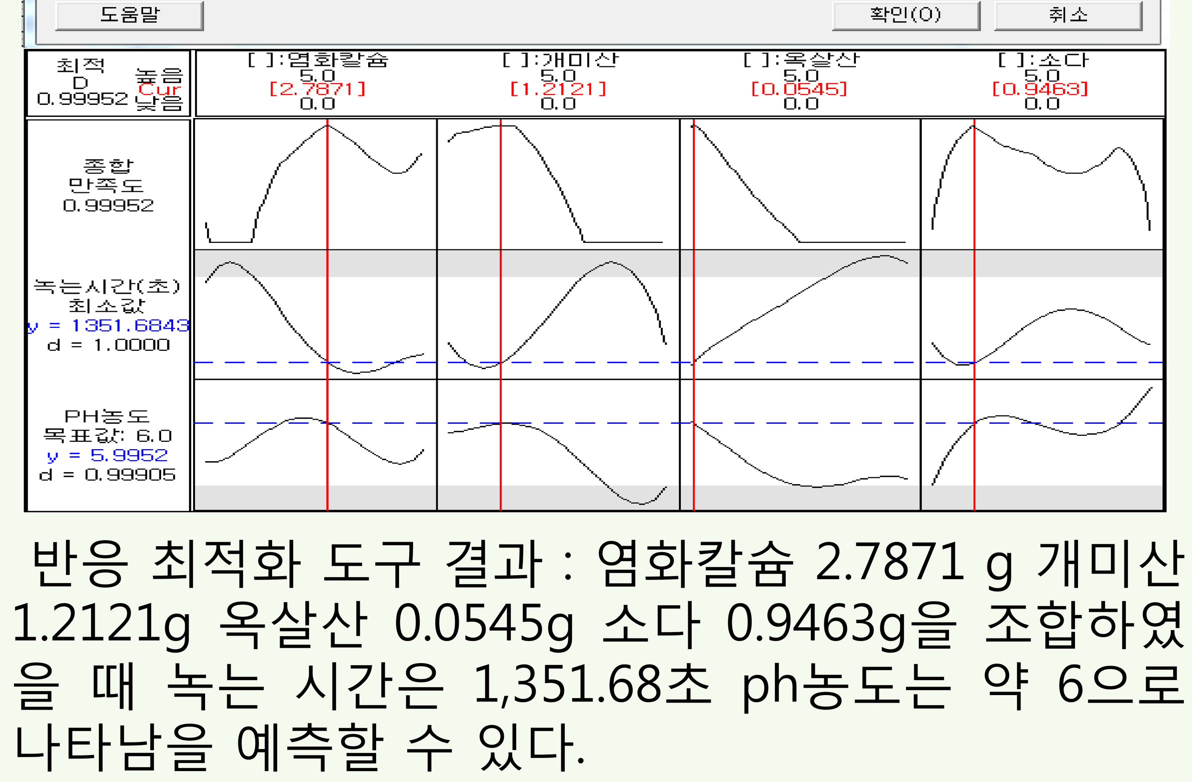


각 분석 결과에서 VIF값이 5이하인 다중 공선성이 발생할 가능성이 낮은 항목이라고 판단.

4. 반응최적화 도구

기존의 제설효과를 만족해야 하므로 녹는 시간의 목표 값은 염화칼슘이 얼음을 완전히 액체로 만드는데 까지 걸리는 시간인 1,540초로 설정하고 최소화, PH농도 값은 실험의 목적인 환경에 유해하지 않은 중성의 PH농도 6으로 설정한다.





반응 최적화 도구 결과 : 염화칼슘 2.7871 g 개미산 1.2121g 옥살산 0.0545g 소다 0.9463g을 조합하였을 때 녹는 시간은 1,351.68초 ph농도는 약 6으로 나타남을 예측할 수 있다.

염화칼슘		친환경 제설제	
녹는 시간	PH농도	녹는 시간	PH농도
1540초	4.0	1351초	5.99

5. 재현실험 및 결론

실험의 유의성을 알아보기 위해 최적화를 통해 나타난 결과를 바탕으로 재현실험을 실시하였다. 그 결과 녹는 시간은 약 1,373초로 나타났으며, PH농도는 6으로 나타났다. 미니탭을 사용하여 나타난 분석결과와는 미미한 차이는 있었지만 근접한 결과가 나타남을 확인하였다.

	염화칼슘	개미산	옥살산	소다
1g당(원)	22.88	22.88	22.88	3.8

α + (유지보수 비용) 염화칼슘 (25kg) 57,200원 → 친환경 제설제 (25kg) 48,172원

시중에서 흔히 유통되는 염화칼슘 한 포대의 용량으로 가격을 환산하면, 친환경 제설제(25kg)는 염화칼슘(25kg) 보다 약 9,000원의 **비용 절감 효과**가 나타난다. 또한 기존의 염화칼슘을 사용한 제설 작업 시 나타나는 도로부식, 하천 오염 등의 **환경문제를 해결하기 위한 유지보수비용을 줄일 수 있을 것으로 기대**된다.