



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

음식물류 폐기물 석회처리비용 공정에서
초기온도와 석회주입량의 영향



2016년 08월

부 경 대 학 교 대 학 원

U-Eco City 협동과정

황 상 인

공 학 석 사 학 위 논 문

음식물류 폐기물 석회처리비용 공정에서
초기온도와 석회주입량의 영향

지도교수 이 병 헌

이 논문을 공학석사학위논문으로 제출함.

2016년 08월

부 경 대 학 교 대 학 원

U-Eco City 협동과정

황 상 인

황상인의 공학석사 학위논문을 인준함.

2016년 8월



위 원 장 공학박사 김 일 규



위 원 공학박사 이 태 윤



위 원 공학박사 이 병 헌



목 차

목 차	i
List of Tables	iii
List of Figures	iv
Abstract	vi
제 1 장 서 론	1
제 2 장 문 헌 연 구	3
2.1 음식물류 폐기물의 현황	3
2.1.1 음식물류 폐기물의 발생 및 처리현황	3
2.1.2 음식물류 폐기물의 자원화 시설 현황	4
2.1.3 음식물류 폐기물의 자원화 방법	5
2.2 생석회를 이용한 음식물류 폐기물의 반응	6
2.2.1 석회질 비료의 특성	6
2.2.2 석회처리 비료의 공정규격	7
2.2.3 생석회와 음식물류 폐기물의 반응	8
제 3 장 재 료 및 방 법	10
3.1 실험 재료 및 장치	10
3.2 실험 방법	11
3.2.1 반응표면분석법을 사용한 실험 설계	12
3.2.2 음식물류 폐기물과 생석회의 반응 실험	14

제 4 장 결과 및 고찰	15
4.1 음식물류 폐기물 석회 주입시의 반응 온도 변화	15
4.2 음식물류 폐기물 석회처리비료의 건조 전 특성	18
4.2.1 석회처리비료의 건조 전 pH, 염분, 알칼리도 변화 특성	18
4.2.2 석회처리비료의 건조 전 수분 및 유기물 함유량 변화 특성	26
4.3 음식물류 폐기물 석회처리비료의 건조 후 특성	31
4.3.1 석회처리비료의 건조 후 염분, 알칼리도, 유기물 변화 특성	31
4.4 반응표면 분석법을 이용한 최적 실험조건 구성 요소	38
 제 5 장 결 론	40
 참고문헌	41

List of Tables

Table 2.1 Treatment status of food waste.....	3
Table 2.2 Operation of recycling facilities of food waste	4
Table 2.3 Recycling methods and properties of food waste	5
Table 2.4 Types of lime fertilizer.....	6
Table 2.5 Standard of lime treatment fertilizer.....	7
Table 3.1 The initial characteristics of food waste	10
Table 3.2 Standards of lime fertilizer.....	10
Table 3.3 The list of each experimental case.....	13
Table 3.4 Analysis method and device of lime fertilizer.....	14
Table 4.1 Results of peak temperature for each experimental condition.....	16
Table 4.2 Results of pH, salinity, alkalinity without drying for each experimental condition.....	20
Table 4.3 Estimated regression coefficients for without drying pH of lime treated fertilizer.....	24
Table 4.4 Estimated regression coefficients for without drying salinity of lime treated fertilizer..	24
Table 4.5 Estimated regression coefficients for without drying alkalinity of lime treated fertilizer	25
Table 4.6 Results of moisture and organic matter contents without drying for each experimental condition.....	27
Table 4.7 Estimated regression coefficients for without drying moisture contents of lime treated fertilizer.....	30
Table 4.8 Estimated regression coefficients for without drying organic matter contents of lime treated fertilizer.....	30
Table 4.9 Results of salinity, alkalinity, organic matter after drying for each experimental condition.....	33
Table 4.10 Estimated regression coefficients for with drying salinity of lime treated fertilizer..	37
Table 4.11 Estimated regression coefficients for with drying alkalinity of lime treated fertilizer	37
Table 4.12 Estimated regression coefficients for with drying organic matter contents of lime treated fertilizer.....	38
Table 4.12 Optimized experimental condition values.....	40

List of Figures

Fig. 3.1 Reactor and schematic diagram of stirring device for food waste.....	11
Fig. 3.2 Schematic of central composite design.....	12
Fig. 4.1 Variation of peak temperature value each case in operating time.....	16
Fig. 4.2 Variation of temperature value in according with input Cao (%) and peak temperature (°C).....	17
Fig. 4.3 Three-dimensional response surface plot of temperature by input Cao (%) and peak temperature (°C).....	17
Fig. 4.4 Variation of pH value without drying in accordance with input Cao (%) and initial temperature (°C).....	21
Fig. 4.5 Three-dimensional response surface plot of pH without drying by input Cao (%) and initial temperature (°C).....	21
Fig. 4.6 Variation of salinity value without drying in accordance with input Cao (%) and initial temperature (°C).....	22
Fig. 4.7 Three-dimensional response surface plot of salinity without drying by input Cao (%) and initial temperature (°C).....	22
Fig. 4.8 Variation of alkalinity value without drying in accordance with input Cao (%) and initial temperature (°C).....	23
Fig. 4.9 Three-dimensional response surface plot of alkalinity without drying by input Cao (%) and initial temperature (°C).....	23
Fig. 4.10 Variation of moisture contents value without drying in accordance with input Cao (%) and initial temperature (°C).....	28
Fig. 4.11 Three-dimensional response surface plot of moisture contents without drying by input Cao (%) and initial temperature (°C).....	28
Fig. 4.12 Variation of organic matter contents value without drying in accordance with input Cao (%) and initial temperature (°C).....	29
Fig. 4.13 Three-dimensional response surface plot of organic matter contents without drying by input Cao (%) and initial temperature (°C).....	29
Fig. 4.14 Variation of salinity value with drying in accordance with input Cao (%) and initial temperature (°C).....	34
Fig. 4.15 Three-dimensional response surface plot of salinity with drying by input Cao (%) and initial temperature (°C).....	34

Fig. 4.16 Variation of organic matter contents value with drying in accordance with input Cao (%) and initial temperature (°C).·····	35
Fig. 4.17 Three-dimensional response surface plot of organic matter contents with drying by input Cao (%) and initial temperature (°C).·····	35
Fig. 4.18 Superimposing contour map of optimized conditions for pH, salinity, alkalinity of input Cao (%) and initial temperature (°C).·····	38
Fig. 4.19 Optimazation of pH, alkalinity, salinity value by regulating input Cao (%) and initial temperature (°C).·····	39



The Effects of Initial Temperature and Lime Application Rates in Lime
Treatment Fertilizer Process of Food Wastes

Sang-In Hwang

U-Eco City, The Graduate School,
Pukyong National University

Abstract

The purpose of this study is to optimize lime stabilization system for lime treated fertilizer of food waste. Response surface methodology (RSM) is used to get a set of designed experiments to obtain optimal multi factor operating conditions for the lime stabilization process. Response Surface Methodology explores the relationships between several explanatory variables and one or more response variables. It is a collection of mathematical and statistical techniques for empirical model building. The main objective is to optimize a response(operating temperature, pH and Salinity of lime fertilizer) which is influenced by independent variables(lime application rates and initial temperature of food waste). Lime application rates were 8 ~ 18 % and initial temperature of food waste were 10 ~ 28 °C, respectively. To obtain the operating temperature above 100 °C and pH of lime fertilizer above 11.5 and Salinity below 1 %, the operation conditions of lime application rates was 11.0 % and initial temperature of food waste was 22.0 °C, respectively.

Key word: Food Waste, Lime, Temperature, pH, Salinity

제 1 장 서 론

인구 증가와 산업화 및 1972년의 런던협약에 따라 우리나라는 해양투기가 금지되면서 폐기물의 육상처리가 강조되었고, 따라서 처리 방법에 대한 관심과 연구가 증가하고 있다 (Namkung et al, 2010).

현재 대한민국은 국민의 총 소득이 30년 사이에 160여배 이상으로 증가하는 경제 성장을 보였지만, 그 이면에는 다양한 부작용이 존재하였다. 그 중에서 음식물류 폐기물의 발생량은 과거에 비하여 급격히 증가했다 (신 외, 2006).

2013년 환경부에 따르면, 음식물류 폐기물은 전체 폐기물 과정의 약 28 %를 차지하며 음식물류 폐기물을 100 % 라고 가정하였을 때, 유통/조리과정 (57 %), 먹고 남은 음식물 (30 %), 보관폐기식재료 (9 %), 먹지 않는 음식물 (4 %)로 나뉘게 된다. 또한 정부주도 사업 및 정책으로 인한 음식물류 폐기물의 재활용율은 1999년 8.6 %에서 2010년 95.5 %로 향상되었다 (최 외, 2012; 환경부, 2013).

음식물류 폐기물의 재활용 방법으로는 퇴비화, 사료화 등이 있다. 여기서 퇴비화 방법은 보다 저렴하고 운전이 간편하나, 기간이 오래 걸리고, 악취 등의 2차 오염을 발생시키며, 음식물류 폐기물의 고유성분인 염분 등의 발생 등에 대해 효율적으로 대처하지 못한다는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해 생석회를 이용한 석회처리비용의 연구가 많이 진행 되고 있다 (신 외, 2006; 이 외, 2009; 시민환경기술센터, 2010).

생석회를 이용한 석회처리 비용은 우리나라의 토양의 자연적인 조건, 산성비 강하, 화학비료 과다사용, 황사 등으로 산성화된 토양을 작물 생육에 적합한 토양으로 만드는 과정에 긍정적인 영향을 미치게 된다 (이, 2005).

하지만 음식물류 폐기물의 석회처리 비료 제조 공정에서 음식물류 폐기물의 초기 온도와 생석회의 주입량에 관한 구체적인 자료 및 연구는 부족한 현상이다.

따라서 본 연구에서는 초기 음식물류 폐기물의 온도와 주입되는 생석회의 양이 음식물류 폐기물의 석회처리 비료의 제조과정에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.



제 2 장 문 헌 연 구

2.1 음식물류 폐기물의 현황

2.1.1 음식물류 폐기물의 발생 및 처리 현황

Table 2.1을 통해 알 수 있듯이 전국의 음식물류 폐기물의 발생량은 하루당 평균 14,000 톤 이상이 발생하고 있으며, 매립에 의존하던 과거와 달리 재활용을 통한 처리가 주를 이루고 있다. 또한 음식물류 폐기물의 재활용을 위하여 정부와 민간 차원의 노력이 지속적으로 이루어지고 있다 (환경부, 2012)

또한 2005년부터 음식물류 폐기물의 직매립이 금지되고, 음식물류 폐기물이 전국적으로 분리배출 되면서 자원화 할 수 있는 양이 늘어나고 있는 추세이다 (환경부, 2012).

현재 음식물류 폐기물의 처리비용은 연간 8천억 정도로 추정되며 (환경부, 2012), 생석회의 시장 단가인 Ton 당 60,000 ~ 80,000을 고려하였을 때, 음식물류 폐기물의 자원화에 긍정적인 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다.

Table 2.1 Treatment status of food waste

Index		2006	2007	2008	2009	2010
Generation (1000 Ton/year)		4,184	5,020	5,120	5,001	4,901
Treatment	Landfill (%)	0.39	1.20	0.69	0.49	0.81
	Incineration (%)	1.57	2.65	2.23	2.19	2.14
	Recycle (%)	95.87	96.15	97.08	97.32	97.05

2.1.2 음식물류 폐기물의 자원화 시설 현황

Table 2.2에 확인할 수 있듯이 2010년 기준으로 음식물류 폐기물의 자원화 시설은 전국에 약 260개 시설이 있으며, 시설의 용량은 17,505 Ton/day이다. 특히 민간시설은 2006년 이후 5년 동안 자원화시설의 용량 10,000 Ton/day 내외의 시설용량을 유지하고 있으며, 공공시설의 경우 꾸준히 증가하는 경향을 나타내고 있다 (환경부, 2012).

그리고 공공자원화 시설이 자원화시설의 시설용량에서 차지하는 비율은 민간자원화시설의 시설 용량이 급격하게 증가하기 시작한 이후 30 % 초반 내외로 급감한 후 2007년부터 증가하여 37 % 내외를 유지하고 있다 (환경부, 2012).

Table 2.2 Operation of recycling facilities of food waste

Index	2006	2007	2008	2009	2010
Total	261 ¹⁾ (15,435) ²⁾	255 (15,569)	259 (16,049)	262 (17,238)	259 (17,502)
Public companies	89 (4,362)	95 (5,340)	97 (5,930)	102 (6,497)	98 (6,554)
Private companies	172 (10,803)	160 (10,229)	162 (10,119)	162 (10,741)	161 (10,948)

1) Numbers of recycling facilities of food wastes

2) Food waste production (Ton/day)

2.1.3 음식물류 폐기물의 자원화 방법

국내에서 현재 시도되고 있는 음식물류 폐기물의 재활용 방법으로는 퇴비화와 사료화가 대부분을 차지하고 있으며, 혐기성소화를 이용한 메탄발효로 메탄가스를 회수하는 동시에 폐기물의 감량효과를 달성하기 위한 연구도 활발하게 진행되고 있다 (이 외, 2004). 하지만 음식물류 폐기물의 퇴비화의 경우 2차 오염 유발 가능성과 높은 염분 함유량과 성상변화, 부패속도 등이 문제점으로 지적 받고 있으며 퇴비화 방법은 처리비용이 저렴하고 운전이 용이하다는 장점 대신에 속도가 느리고 악취 등의 2차 오염을 유발한다는 단점이 있다 (이 외, 2009).

음식물류 폐기물 관리정책 방향 및 개선방안 연구(환경부, 2012)에 따르면 2013년부터 음폐수의 해양배출이 금지되면서, 폐기물에 대한 처리 및 관심이 높아졌으며, 이에 따라 ‘음식물류폐기물을 이용한 비료제조 및 제품판로개척 사례 발표’ 등 음식물류 폐기물의 석회처리 비료화에 대한 재활용 연구들이 이루어지고 있다.

최근 재활용 방법 중 음식물류 폐기물과 생석회를 이용한 방법의 연구가 진행되고 있으며 효율성이 매우 뛰어난 것으로 알려져 있다 (오 외, 2015).

기존의 음식물류 폐기물의 자원화 방법에 대한 추가적인 내용은 Table 2. 3에 표시하였다 (자원순환사회연대, 2000).

Table 2.3 Recycling methods and properties of food waste

Index	Types and characteristics	Advantage and disadvantage
Compositing	Aerobic compositing Anaerobic fermentation	Bulk treatment Slow speed and secondary contamination occurs
Feedstuff	Wet, Dry, Fermentation	Using by-products processing Requirements of initial installation cost and quality
Anaerobic digestion	Wet, Dry process	Use of alternative energy production and Reduction of O.M
Anaerobic digestion w/ sewage sludge	Used in the digester at sewage treatment plant	Increase the efficiency of digestion and methane production Secondary contamination occurs

2.2 생석회를 이용한 음식물류 폐기물의 반응

2.2.1 석회질 비료의 특성

석회질 비료의 주성분은 석회로서, 석회는 산성토양을 중화시키고 채소, 콩 등 발작물이 흡수하는 다량원소로써 비료의 4요소 중 하나이며, 석회의 품질은 알칼리도로 표시하며, 현재 우리나라 토양의 90 % 이상이 산성화 되어 있으며 평균 5.6 정도를 유지하고 있으며 적정 기준치는 6.0~6.5 정도를 맞추는데 적당하다 (박인근, 2000).

석회 자체를 이용한 비료의 종류로는 소석회, 석회석, 석회고토, 부산소석회, 부산석회, 패화석, 생석회 등 다양한 비료가 존재하며, 각 석회질 비료의 공정 규격은 Table 2.4에 나타냈다.

Table 2.4 Types of lime fertilizer

Index	Mainly containing a minimum amount (%)	Remarks
Hydrated lime	Alkalinity: 60	
Lime stone	Alkalinity: 45	
Lime magnesium	Alkalinity: 53 Availability magnesium : 15	
Lime waste	Alkalinity: 60	
Lime sludge	Alkalinity: 45	
Shell	Alkalinity: 40	
Lime	Alkalinity: 80	

2.2.2 석회처리 비료의 공정 규격

2014년 농촌진흥청에서 고시한 비료규격설정 및 지정에는 석회처리비료에 대한 규격을 확인할 수 있다 (농진청, 2014).

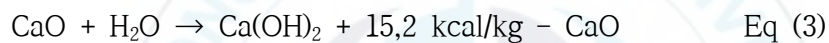
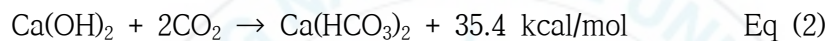
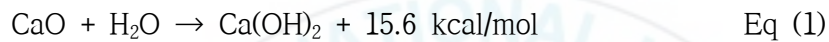
석회처리비료는 2002년 11월 8일에 신설되었으며, 2009년 10월 1일에 재정이 되었으며, 자세한 규격은 표 2.5에 나타났다. 표를 살펴보면 유기물함유량, 알칼리분의 경우 각각 10, 15 % 이상을 만족하여야 하며, 건조물 중에 대해 염분은 2.0 % 이하, 수분은 50 % 이하를 기준으로 하고 있다. 그밖에도 유해성분에 대한 제한값도 표시되어 있다.

Table 2.5 Standard of lime treatment fertilizer

Index	Mainly containing a minimum amount (%)		The maximum amount of harmful components (mg/kg)		Other specifications (%)	
Lime treated fertilizer	Organic matter	10	Dry matter		Dry matter	
			As	45		
			Cd	5		
			Hg	2		
			Pb	130	Salinity	below 2.0
	Cr	250				
	Alkalinity	15	Cu	400	Moisture	below 50
			Ni	45		
			Zn	1,000		

2.2.3 생석회와 음식물류 폐기물 반응

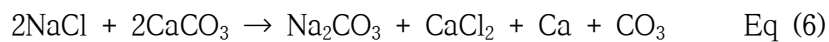
생석회와 음식물류 폐기물이 만나면 열을 발생 시키게 되며 Eq (1) ~ (3)를 통하여 생석회의 발열 반응을 확인할 수 있다. 이 발열 반응에 의해 유기 화합물이 생석회의 주성분인 칼슘 성분으로 코팅처리 되고 주요 악취성분을 분해 또는 흡착 시키고, 수분을 증발시켜 침출수 발생을 근절시킨다. 또한 열에 의해 병원균 및 기생충을 사멸 시켜 보다 용이한 석회처리 비료를 생산할 수 있게 된다 (이 외, 2007).



그리고 Eq (4) ~ (5)를 통하여 강알칼리 반응을 통한 pH 상승 효과로 인하여 충란, 병원균을 살균하는 효과를 발생시켜 보다 용이한 비료로서의 기능을 갖추게 한다 (Nakasaka et al, 1998; 이 외, 2007).



그리고 Eq (6)은 석회반응을 통하여 염분을 제거하는 식으로서 생석회 주입을 통해 염분의 농도를 낮추어 추후 토양 및 작물에 시비하였을 때 삼투현상으로 인한 세포 팽압 현상을 방지할 수 있게 된다 (김 외, 2002).



이러한 생석회 반응을 이용하여 생성된 음식물류 폐기물의 석회처리 비료는 음식물류 폐기물에 포함된 영양성분을 포함하므로 작물 생장에 필요한 영양분을 충분히 공급할 수 있게 된다. 그리고 작물의 비료 흡수를 증대시켜 작물의 상품가치를 증가시킬 수 있게 된다 (김 외, 2002).

또한 생성된 석회처리비료를 토지에 시비하였을 때, 석회처리비료 내의 칼슘 이온이 토양 입자와 결합하여 토양내의 입단화 현상이 이루어지며, 이때 염분의 용탈을 적절히 촉진 시킬 수 있으며 (김, 2006), 비료 내의 적절한 유기물질 함유량으로 인하여 토양 내의 미생물 증식을 촉진 할 수 있게 된다 (강 외, 1996).

제 3 장 재 료 및 방 법

3.1 실험 재 료 및 장 치

본 연구에서 음식물류 폐기물은 부산의 A 하수처리장 병합조의 파쇄된 음식물류 폐기물을 사용하였으며, 생석회는 경남 하천의 A 공장에 있는 특급 생석회를 수령하여 사용하였다. 초기 음식물류 폐기물을 성상을 확인하기 위하여 사전에 비료의 품질검사 방법 및 시료채취기준 (농촌진흥청, 2015)에 의하여 분석하였으며, 해당 기준 및 자료는 Table 3.1와 3.2에 나타냈다.

Table 3.1 The initial characteristics of food waste

Index	pH	Salinity (%)	Alkalinity (%)	Moisture (%)	Organic matter (%)
Food Waste	4.7	3.0	4.4	72.4	15.5

Table 3.2 Standards of lime treated fertilizer

Index	Mainly containing a minimum amount (%)	Other specifications (%)	Remarks
Lime treated fertilizer	Organic matter : 10 Alkalinity: 15	Salinity : below 2.0 Moisture : below 50	

실험 장치로는 대한민국 A사의 음식물 교반장치를 사용하였으며, 모식도는 Fig. 3.1에 표시하였다. 외형치수는 385 * 430 * 580 (mm)이며 내부에 교반날개가 설치되어 있어, 음식물류 폐기물과 생석회를 원활하게 교반시켜 줄 수 있다. 또한 보온장치가 별도로 설치되어 있어, 내부의 온도를 40 ℃ 까지 올려 줄 수 있으며 이는 음식물 폐기물의 온도를 사전에 증가시켜 생석회와의 반응에 긍정적인 역할을 미칠 수 있게 된다.

생석회와 음식물류 폐기물이 반응하는 동안의 온도를 확인하기 위하여 기기의 좌측 하단부에 별도의 구멍을 뚫어 온도계를 설치하여 시간마다 변화하는 온도를 영상으로 기록하였다.



Fig. 3.1 Reactor and schematic diagram of stirring device for food waste.

3.2 실험 방법

3.2.1 반응표면분석법을 사용한 실험 설계

초기 음식물류 폐기물의 온도와 주입되는 생석회의 양이 음식물류 폐기물의 석회처리 비료의 제조과정에서 미치는 영향을 확인하기 위하여 실험계획은 Fig. 3.2과 같이 중심점 주변의 일정한 거리를 둔 후 실험변수를 설정하는 반응표면분석법 (Response surface methodology)중의 중심합성법 (Central composite design)을 이용하여 설정하였고 (이, 2008), 통계분석 프로그램인 Minitab 15를 사용하여 초기 음식물류 폐기물의 온도와 생석회 주입량을 실험변수로 지정하였으며, 음식물류 폐기물과 생석회의 반응 시간은 1시간으로 고정하였고, 총 실험 경우의 수는 Table 3.3과 같이 나타내었다.

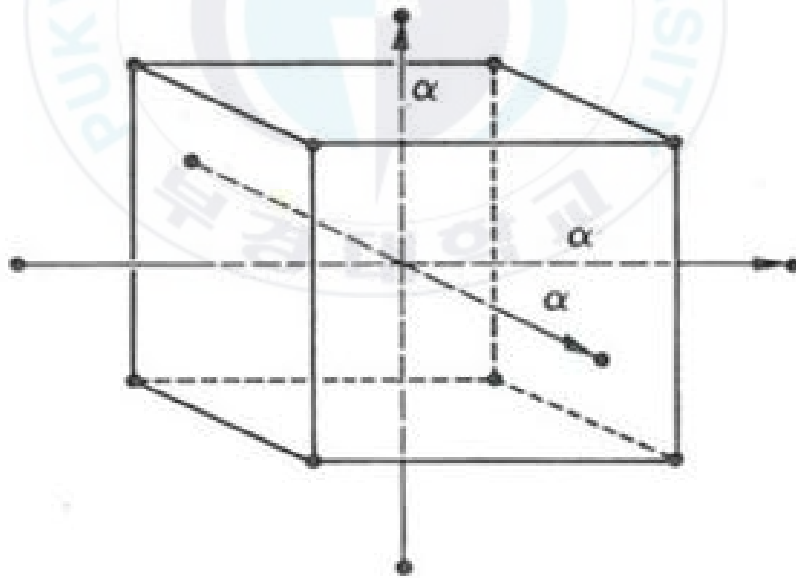


Fig. 3.2 Schematic of central composite design.

Table 3.3 The list of each experimental case

Case	Input CaO (%)	Initial Temperature (°C)
1	12	19
2	12	28
3	12	19
4	16	13
5	16	25
6	12	19
7	12	10
8	6	19
9	18	19
10	12	19
11	12	19
12	8	25
13	8	13

3.2.2 음식물류 폐기물과 생석회의 반응 실험

음식물류 폐기물과 생석회의 반응 온도를 확인하기 위하여 반응 시간인 1 hr동안 2 min 간격으로 온도를 측정하였다.

반응이 종료 된 후 생성물의 성상을 파악하기 위하여 분석 항목은 비료 공정규격 설정 및 지정 (농촌진흥청, 2014)의 석회처리 비료에 명시되어 있는 염분 (%), 알칼리도 (%), 수분함량 (%), 유기물 함량 (%), 외에도 pH항목을 추가하여 측정하였고, 이 생성물을 건조시킨 후의 염분 (%), 알칼리도 (%), 유기물 함량 (%)을 별도로 측정하였다.

실험 방법은 비료의 품질검사 방법 및 시료 채취기준 (농촌진흥청, 2015)에 의하여 실시하였고, Table 3.4에 분석 방법과 측정장치를 나타냈다.

또한, 음식물류 폐기물과 생석회 반응을 마친 후 냄새 변화를 확인한 결과, 반응을 하기 전의 악취보다 저감된 부분을 확인할 수 있었으며, 이는 다른 연구와 비슷한 결과를 나타냈다 (정 외, 2004).

Table 3.4 Analysis methods and devices of lime treated fertilizer

Item	Unit	Analysis methods and device
pH	-	pH meter (Orion 290A)
Salinity	%	Salinity meter (MarineCost RHS 10ATC)
Alkalinity	%	Hydrochloric acid methods
Moisture contents	%	Heating methods
Organic matter contents	%	Ashing Incubation methods

제 4 장 결과 및 고찰

4.1 음식물류 폐기물 석회주입시의 반응 온도 변화

초기 음식물류 폐기물의 온도와 생석회의 주입량에 따른 반응온도의 변화는 Fig. 4.1에 나타냈다. 음식물류 폐기물과 생석회가 만나 반응을 하게 되면 높은 열을 발생시키고 pH를 상승시키게 되는데 이때 음식물류 폐기물내의 병원균을 사멸시키고 또한 수분 및 유기물의 함유량을 감소시키게 된다 (이 외, 2007). 또한 음식물류 폐기물과 생석회가 반응 하였을 때의 온도가 100 ℃ 이상 올라가야 원활한 반응을 했다고 판단할 수 있다 (김, 2002; 이 외, 2004).

또한 이는 고온성 세균과 방선균들도 사멸하고, 포자형성이 가능한 세균만 살아남게 되는 석회비료로서의 이상적인 반응으로 판단된다 (김, 2002).

실험결과를 살펴보면 초기 반응시에 급격한 온도 상승을 보인 후 일정 온도를 유지한 후 점차 온도가 감소하는 것을 확인할 수 있었으며, Case 7, 8, 12, 13를 제외한 나머지 Case에서는 반응시간 20분 내에 반응온도가 100 ℃ 이상 올라가는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통하여 초기 음식물류 폐기물의 온도에 비하여 생석회의 주입량이 10 % 이하로 되었을 때는 원활한 발열반응이 이루어지지 않는 다는 것을 확인할 수 있었다,

Table 4.1 는 반응시간인 1시간 동안의 각 실험 조건별 최고 온도 값을 나타낸 표이고 Fig 4.2와 4.3는 해당 자료의 등고선도와 표면도이다. 그래프를 확인하였을 때, 생석회 주입량이 12 %, 온도는 20 ℃ 이상 운전하였을 때 반응온도가 100 ℃ 이상 올라가는 것을 확인 할 수 있었으며, 이는 원활한 생석회 반응이 진행되었다고 확인할 수 있다 (정 외, 2004).

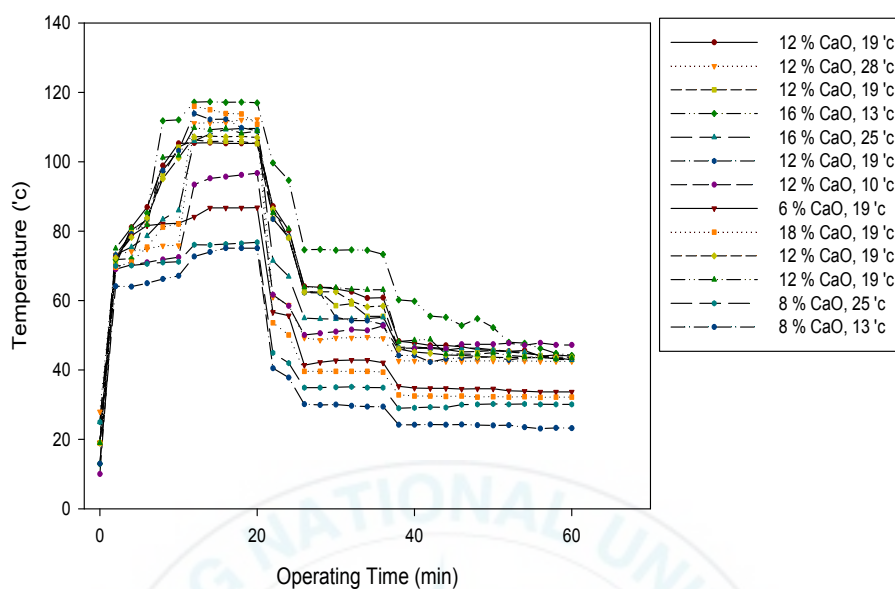


Fig. 4.1 Variation of peak temperature value each case in operating time.

Table 4.1 Results of peak temperature for each experimental condition

Case	Conditions		Peak temperature (°C)
	Input CaO (%)	Initial temperature (°C)	
1	12	19	105.4
2	12	28	112.2
3	12	19	105.9
4	16	13	117.3
5	16	25	109.6
6	12	19	113.9
7	12	10	96.7
8	6	19	86.8
9	18	19	116.0
10	12	19	107.4
11	12	19	109.8
12	8	25	76.1
13	8	13	75.1

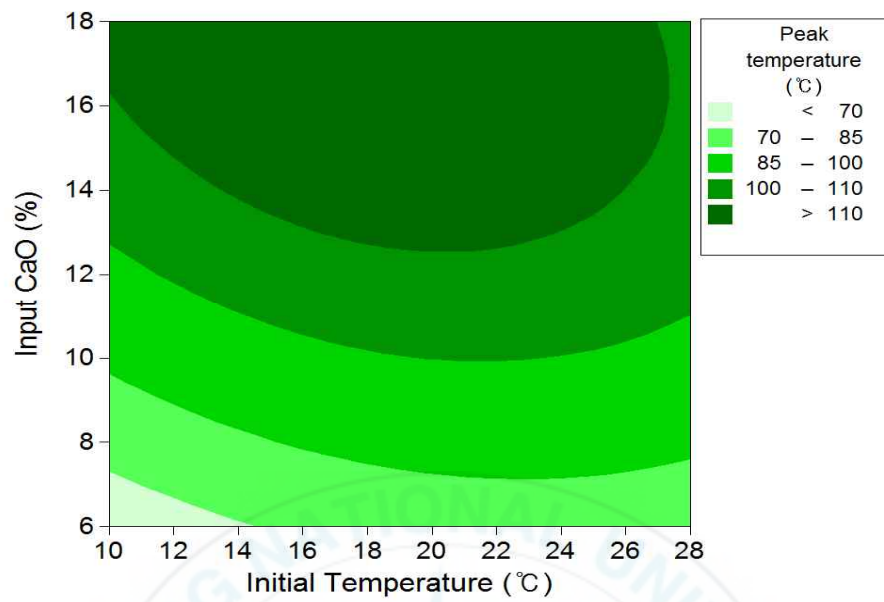


Fig. 4.2 Variation of temperature value in according with input Cao (%) and peak temperature (°C).

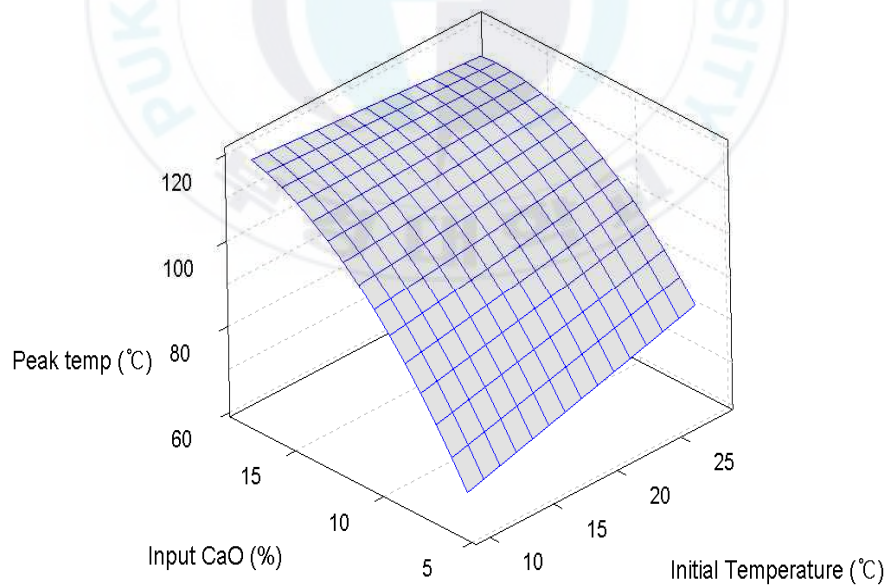


Fig. 4.3 Three-dimensional response surface plot of temperature by input Cao (%) and peak temperature (°C).

4.2 음식물류 폐기물 석회처리비료의 건조 전 특성

4.2.1 석회처리비료의 건조 전 pH, 염분, 알칼리도 변화 특성

Table 4.2는 1 hr 반응 후의 생성된 시료를 건조하기 전의 pH, 염분, 알칼리도의 결과를 나타낸 표이다.

pH의 경우, Fig. 4.4와 4.5에 등고선도와 표면도를 각각 나타내었다. 석회처리 비료의 pH는 11.5 ~ 12.0이 되었을 때 원활한 석회처리 반응을 하였다고 볼 수 있는데 (윤 외, 2004), 본 실험의 경우는 생석회양이 11 % 이상, 초기 음식물류 폐기물의 온도는 20 °C 이상에서 반응을 하였을 때, pH 값이 원하는 기준인 11.5 ~ 12.0으로 나타나는 것을 확인할 수 있었다 (오 외, 2015). 이는 반응기내의 음식물류 폐기물과 생석회가 반응하여 수산화칼슘 ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)와 중탄산칼슘 ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$)이 해리되는 pH의 상승효과로 판단되며, 이로 인해 이때 병원균이 사멸되는 안정화가 이루어질 것으로 보인다 (정, 2004). 또한 pH가 11 이상일 때 추후 작물의 생육상태가 양호하고, 수량이 증가될 수 있는 연구와 비교하였을 때 긍정적인 실험 반응의 결과로 판단된다 (신 외, 1984).

염분의 경우, Fig. 4.6과 4.7에 등고선도와 표면도를 각각 나타내었다. 석회처리 비료의 염분은 2 % 이하로 기준을 정하고 있으며 (농진청, 2014) 결과를 살펴보았을 때, 생석회 주입량이 12 % 이상, 초기 음식물류 폐기물의 온도는 높을수록 보다 합당한 염분결과를 얻을 수 있었다. 이는 염분과 석회가 반응하여 염분이 제거되는 현상을 확인할 수 있었다 (Chan et al, 2016; Xuan et al, 2016)

알칼리도의 경우, Fig. 4.8과 4.9에 등고선도와 표면도를 각각 나타내었다. 석회처리 비료의 알칼리분은 15 % 이상으로 기준을 정하고 있으며 (농진청, 2014) 실험 결과를 살펴보았을 때, 생석회 주입량이 14 %, 초기 온도가 20 °C 일 때, 석회처리 비료 기준치인 15 % 이상을 만족하는 것을 확인 할 수 있었

다. 또한 생석회의 높은 알칼리도로 인하여 토양의 pH를 교정할 수 있는 능력을 함유하고 있는 것으로 판단된다 (김, 2002).

Table. 4.3 ~ 4.5는 생석회 주입량과 초기 설정 온도에 대한 건조 전 pH, 염분, 알칼리도 변화값의 추정회귀계수 적절성을 판단하기 위한 분산분석 (ANOVA : Analysis of variance)을 나타낸 표이다. 생석회 주입량과 초기 설정 온도에 대한 각 값의 추정 회귀 계수를 살펴보기 위하여 Minitab 15를 이용하여 P-value 값을 확인하였다. 신뢰 수준을 95 %로 하였을 때 pH, 염분, 알칼리도의 P-value값이 0.05보다 작은 값을 나타내는 것으로 보아 생석회 주입량에 대해 유의하다고 판단되었다. 또한 실험의 상관관계를 나타내는 R^2 의 값은 pH의 경우 80.43 %, 염분의 경우 82.38 %로 나타났으나 알칼리도의 상관관계를 상대적으로 낮은 66.49 %를 나타내었다.

Table 4.2 Results of pH, salinity, alkalinity without drying for each experimental condition

Case	Conditions		Results		
	Input CaO (%)	Initial temperature (°C)	pH	Salinity (%)	Alkalinity (%)
1	12	19	11.9	1.1	11.0
2	12	28	12.0	0.5	12.4
3	12	19	11.7	1.2	19.0
4	16	13	12.0	0.7	14.4
5	16	25	11.8	0.5	13.2
6	12	19	12.0	1.1	17.6
7	12	10	11.9	0.9	9.3
8	6	19	10.2	1.8	6.3
9	18	19	11.9	0.8	17.6
10	12	19	12.0	1.1	18.2
11	12	19	12.0	1.2	16.2
12	8	25	9.2	1.8	9.5
13	8	13	10.7	1.7	6.6

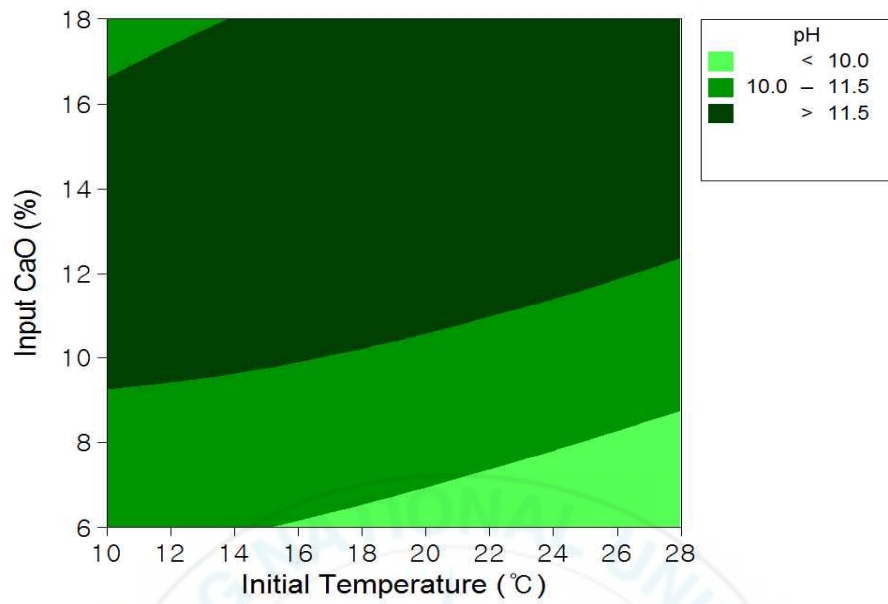


Fig. 4.4 Variation of pH value without drying in accordance with input Cao (%) and initial temperature (°C).

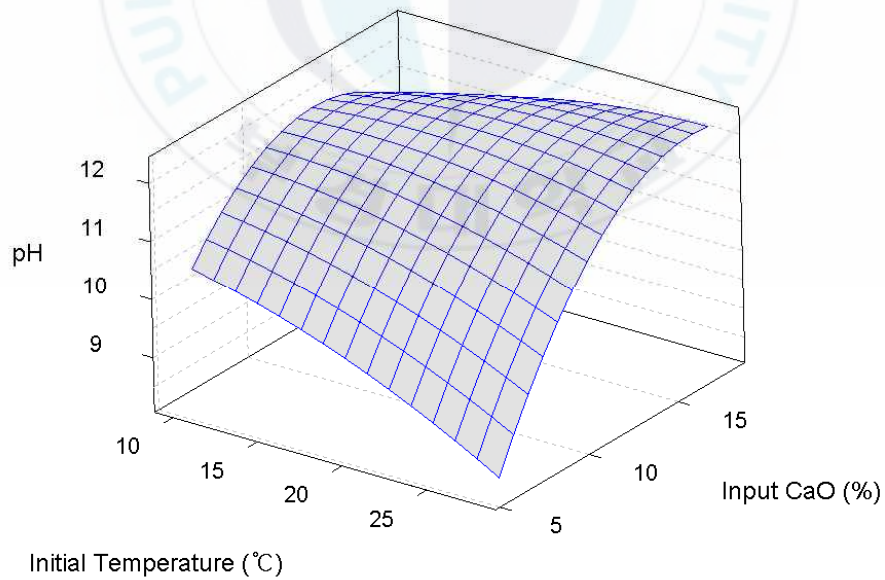


Fig. 4.5 Three-dimensional response surface plot of pH without drying by input Cao (%) and initial temperature (°C).

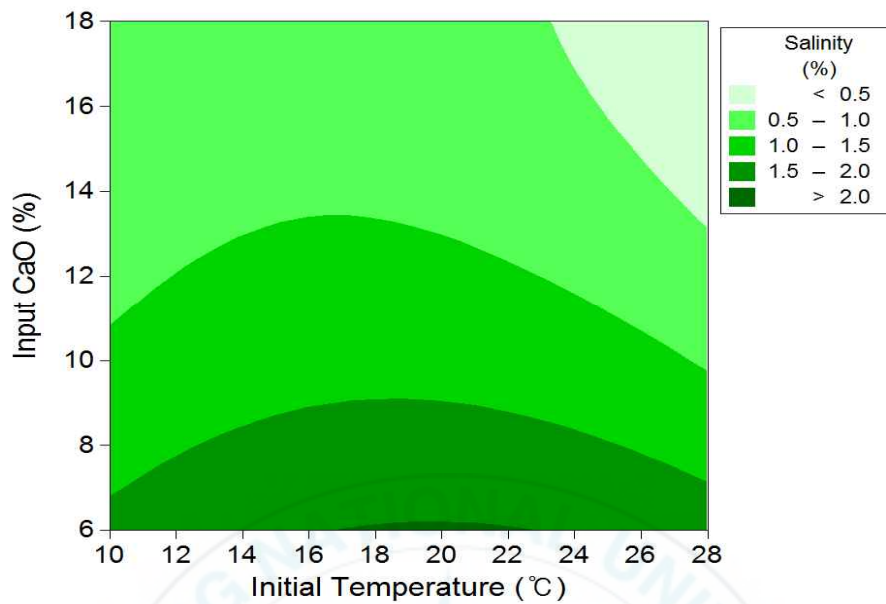


Fig. 4.6 Variation of salinity value without drying in accordance with input Cao (%) and initial temperature (°C).

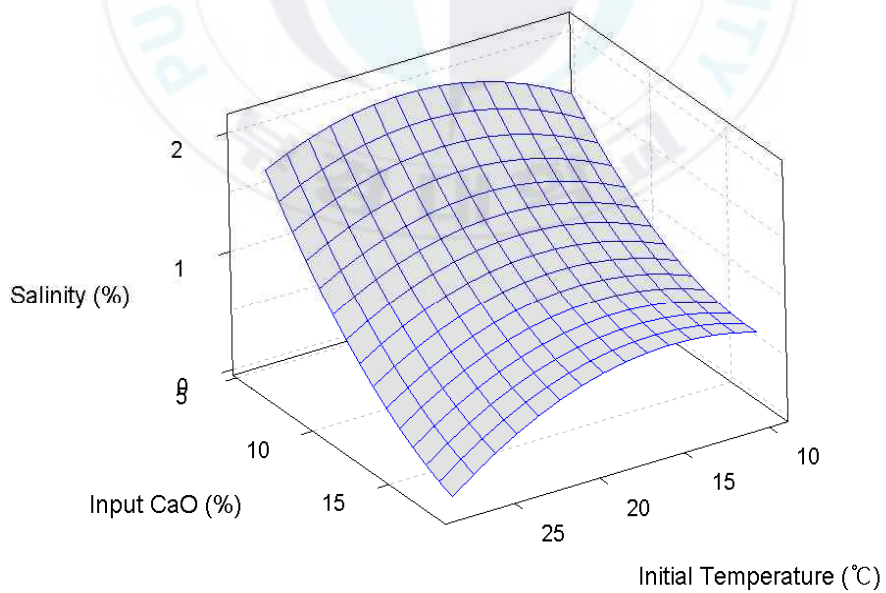


Fig. 4.7 Three-dimensional response surface plot of salinity without drying by input Cao (%) and initial temperature (°C).

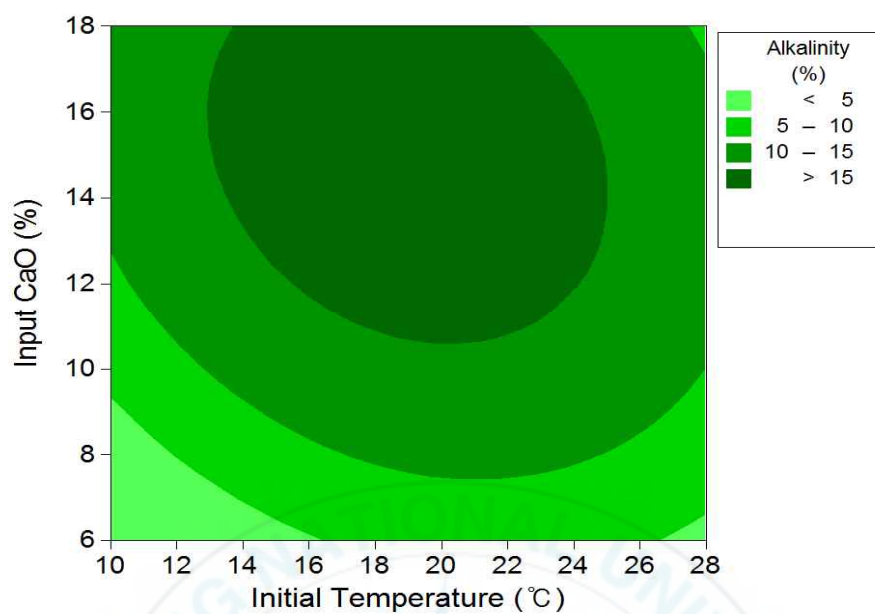


Fig. 4.8 Variation of alkalinity value without drying in accordance with input Cao (%) and initial temperature (°C).

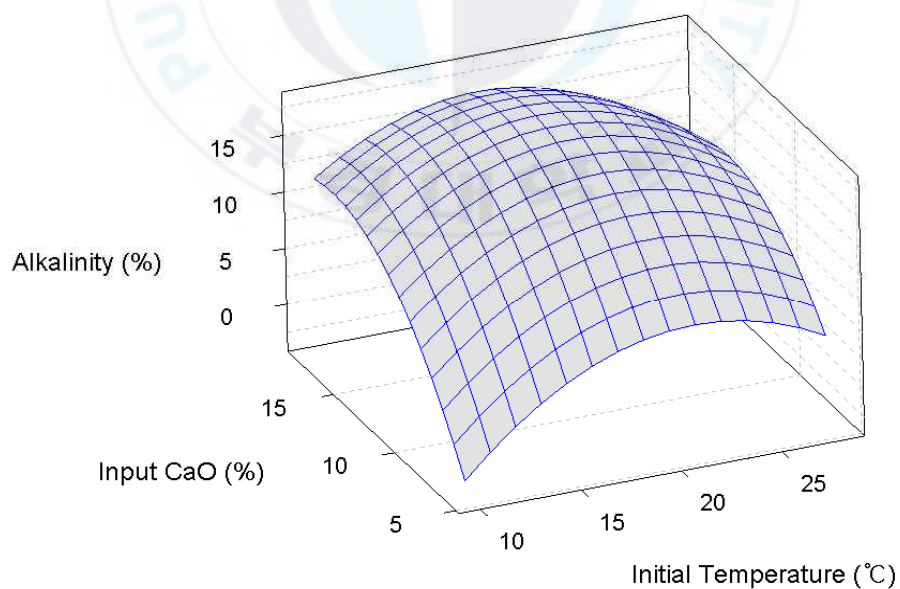


Fig. 4.9 Three-dimensional response surface plot of alkalinity without drying by input Cao (%) and initial temperature (°C).

Table 4.3 Estimated regression coefficients for without drying pH of lime treated fertilizer

Term	Coefficient	SE coefficient	T-value	P-value
Constant	11.8072	0.1732	68.158	0
Input CaO	0.7647	0.1668	4.583	0.002
Initial temperature	-0.1741	0.1668	-1.044	0.327
Input CaO * Input CaO	-0.4906	0.1662	-2.952	0.018
Input CaO * Initial temperature	0.3492	0.2432	1.436	0.189

R-Sq = 80.43 %

Table 4.4 Estimated regression coefficients for without drying salinity of lime treated fertilizer

Term	Coefficient	SE coefficient	T-value	P-value
Constant	1.00272	0.07998	12.537	0
Input CaO	-0.43714	0.07703	-5.675	0
Initial temperature	-0.08231	0.07703	-1.068	0.316
Input CaO * Input CaO	0.14376	0.07673	1.874	0.098
Input CaO * Initial temperature	-0.08214	0.11229	-0.731	0.485

R-Sq = 82.38 %

Table 4.5 Estimated regression coefficients for without drying alkalinity of lime treated fertilizer

Term	Coefficient	SE coefficient	T-value	P-value
Constant	14.2813	1.285	11.117	0
Input CaO	3.3363	1.237	2.696	0.027
Initial temperature	0.7525	1.237	0.608	0.56
Input CaO * Input CaO	-1.6939	1.232	-1.374	0.207
Input CaO * Initial temperature	-0.9975	1.804	-0.553	0.595

R-Sq = 66.49 %



4.2.2 석회처리비료의 건조 전 수분 및 유기물 함유량 변화 특성

Table 4.6는 1 hr 반응 후의 생성된 시료를 건조하기 전의 수분 함유량과 유기물 함유량의 결과를 나타낸 표이다.

수분 함유량의 경우, Fig. 4.10과 4.11에 등고선도와 표면도를 각각 나타내었다. 석회처리 비료의 수분 함유량의 양은 50 % 이하로 기준을 정하고 있으며 (농진청, 2014), 본 실험의 경우는 수분 함유량이 50 %를 초과 하는 결과를 나타내고 있다. 그러나 현재 시장에서 판매되고 있는 비료와 같이 건조를 하여 수분 함유량을 저감 시킨다면 원활한 비료로서의 품질을 만족 시킬 수 있을 것이라 판단된다 (César et al, 2013)

유기물 함유량의 경우, Fig. 4.12와 4.13에 등고선도와 표면도를 각각 나타내었다. 음식물 폐기물 내의 유기물은 쉽게 석회화 반응이 된다고 알려져 있으며 (Kwon and Lee, 2004), 석회처리 비료의 유기물 함유량은 10 % 이상으로 기준을 정하고 있다 (농진청, 2014). 본 실험의 경우 모든 실험의 유기물 함유량 결과값이 기준치인 10 % 이상을 만족하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 음식물 폐기물의 경우, 유기물 함량이 다른 폐기물에 비해 높아 비료로 사용할 경우 적정 유기물 함량을 가질 수 있다는 보고와 부합하는 것을 확인할 수 있었다 (환경부, 2012).

Table. 4.7 ~ 4.8는 생석회 주입량과 초기 설정 온도에 대한 건조 전 수분함량, 유기물 함유량 변화값의 추정회귀계수 적절성을 판단하기 위한 분산분석을 나타낸 표이다. 생석회 주입량과 초기 설정 온도에 대한 수분 및 유기물 함유량의 추정 회귀 계수를 살펴보기 위하여 P-value 값을 확인하였다. 확인 결과 신뢰 수준을 95 %로 하였을 때 수분 및 유기물 함유량의 P-value값이 0.05보다 작은 값을 나타내는 것으로 보아 생석회 주입량에 대해 유의하다고 판단되었다. 또한 실험의 상관관계를 나타내는 R^2 의 값은 수분 함유량의 경우 79.81 %, 유기물 함유량의 경우 62.31 % 으로 나타났다.

Table 4.6 Results of moisture and organic matter contents without drying for each experimental condition

Case	Conditions		Results	
	Input CaO (%)	Initial temperature (°C)	Moisture contents (%)	Organic matter contents (%)
1	12	19	60.0	14.7
2	12	28	59.8	14.4
3	12	19	62.2	17.6
4	16	13	64.7	14.3
5	16	25	54.0	11.9
6	12	19	58.1	18.5
7	12	10	58.9	12.5
8	6	19	68.8	19.5
9	18	19	58.7	14.4
10	12	19	58.7	17.7
11	12	19	59.1	17.8
12	8	25	68.0	19.3
13	8	13	69.4	20.5

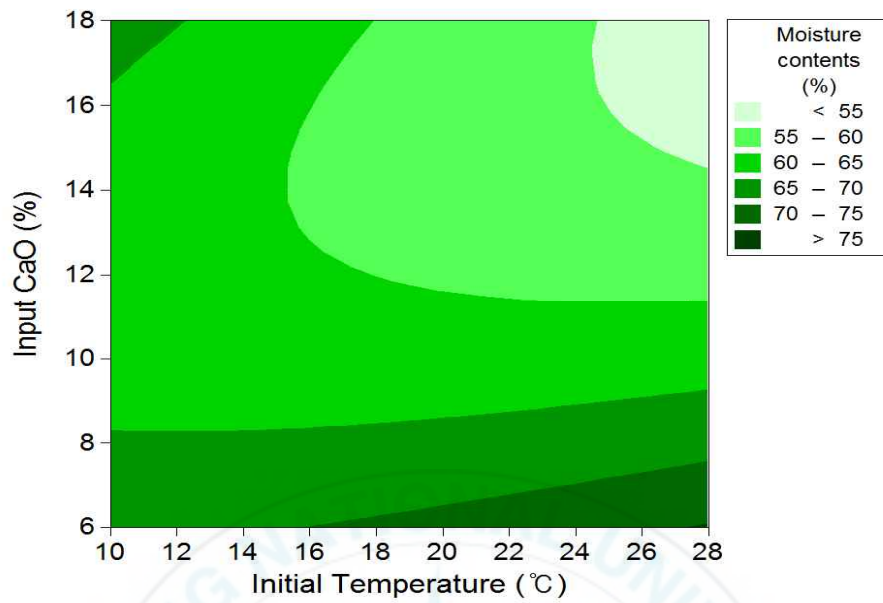


Fig. 4.10 Variation of moisture contents value without drying in accordance with input Cao (%) and initial temperature (°C).

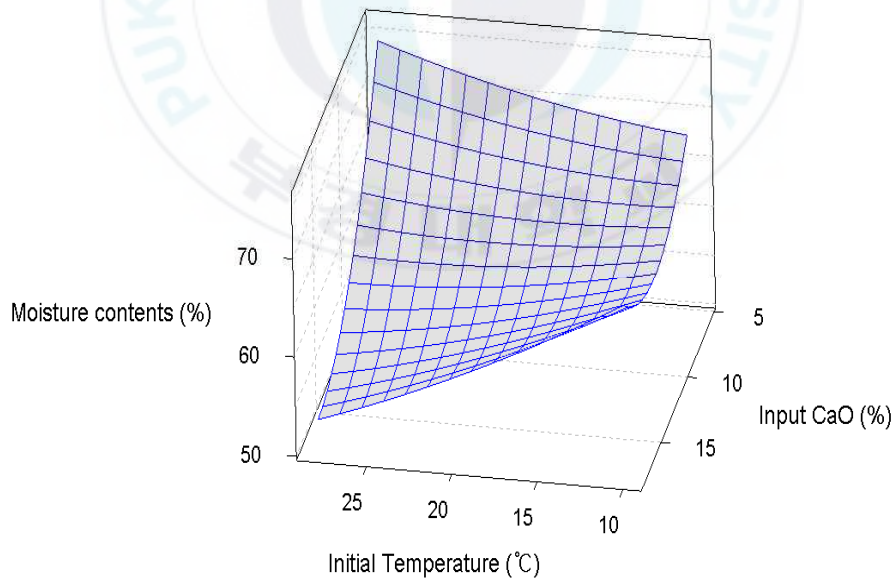


Fig. 4.11 Three-dimensional response surface plot of moisture contents without drying by input Cao (%) and initial temperature (°C).

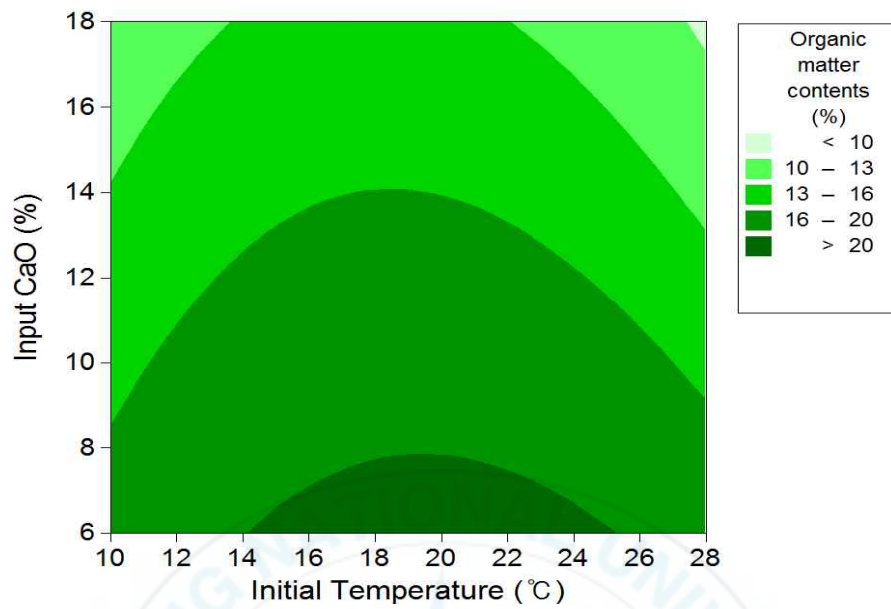


Fig. 4.12 Variation of organic matter contents value without drying in accordance with input Cao (%) and initial temperature (°C).

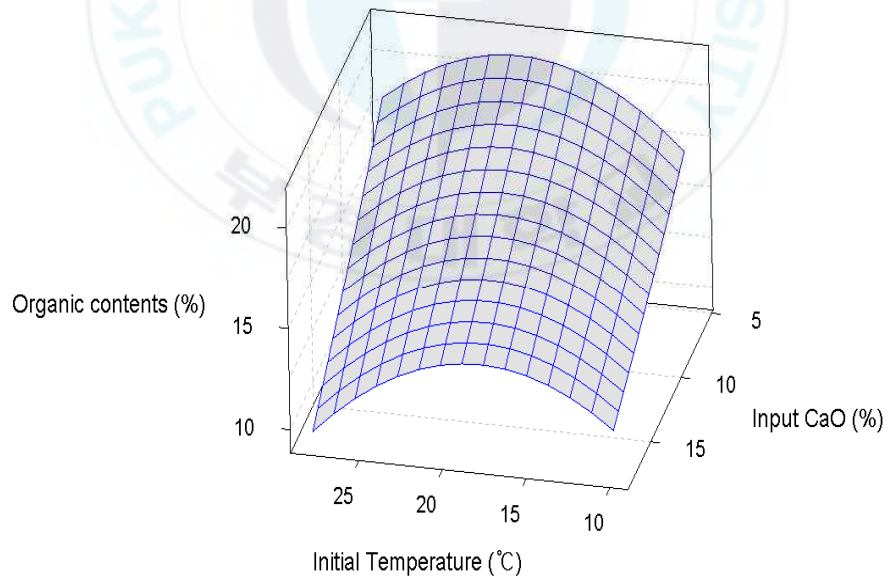


Fig. 4.13 Three-dimensional response surface plot of organic matter contents without drying by input Cao (%) and initial temperature (°C).

Table 4.7 Estimated regression coefficients for without drying moisture contents of lime treated fertilizer

Term	Coefficient	SE coefficient	T-value	P-value
Constant	60.068	0.9297	64.609	0
Input CaO	-3.984	0.8955	-4.449	0.002
Initial temperature	-1.249	0.8955	-1.395	0.201
Input CaO * Input CaO	2.305	0.8919	2.585	0.032
Input CaO * Initial temperature	-2.337	1.3053	-1.79	0.111

R-Sq = 79.81 %

Table 4.8 Estimated regression coefficients for without drying organic matter contents of lime treated fertilizer

Term	Coefficient	SE coefficient	T-value	P-value
Constant	16.1578	0.7982	20.243	0
Input CaO	-2.5253	0.7688	-3.285	0.011
Initial temperature	-0.0993	0.7688	-0.129	0.9
Input CaO * Input CaO	0.3496	0.7658	0.457	0.66
Input CaO * Initial temperature	-0.3026	1.1207	-0.27	0.794

R-Sq = 62.31 %

4.3 음식물류 폐기물 석회처리비용의 건조 후 특성

4.3.1 석회처리비용의 건조 후 염분, 알칼리도, 유기물 변화 특성

Table 4.9는 1 hr 반응 후의 생성된 시료를 건조 후 염분, 알칼리도, 유기물 변화의 결과를 나타낸 표이다.

염분의 경우, Fig. 4.14과 4.15에 등고선도와 표면도를 각각 나타내었다. 석회처리 비료의 염분 함유량의 양은 2 % 이하로 기준을 정하고 있으며 (농진청, 2014), 본 실험의 경우는 염분 함유량은 생석회 8 % 이하에서 2 % 가 나왔지만 이 수치를 제외한 모든 경우에서 기준치 이하의 값을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 이는 음식물 폐기물에 포함되어 있는 과다 염분의 문제가 생석회와 음식물류 폐기물을 반응을 통하여 다소 해결되었음을 확인 할 수 있었다 (신 외, 2006).

알칼리도를 살펴보면 석회처리의 비료의 경우 알칼리도의 양은 15 % 이상으로 기준을 정하고 있으며 (농진청, 2014), 본 실험의 경우 건조 후에도 모든 실험의 알칼리도 결과 값이 15 % 이상을 만족하는 것을 확인 할 수 있었다.

유기물 함유량의 경우, Fig. 4.16와 4.17에 등고선도와 표면도를 각각 나타내었다. 석회처리 비료의 유기물 함유량은 10 % 이상으로 기준을 정하고 있으며 (농진청, 2014), 본 실험의 경우 건조 후에도 모든 실험의 유기물 함유량 결과 값이 10 % 이상을 만족하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 석회처리 비료에 유기물함량은 요구되며, 적절한 유기물함량을 포함한 비료는 비료의 품질에 긍정적인 역할을 수행할 수 있다는 연구결과와 부합되는 것을 확인할 수 있었다 (Lee et al., 2009; Wang et al., 2013). 이는 우리나라 경작지 토양의 유기물 함량은 낮은 수준인 것을 고려 할 때, 토양의 비옥도 증진과 음식물류 폐기물을 토양으로 환원하는 자원화에 긍정적인 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다 (김, 2002).

Table. 4.10 ~ 4.12는 생석회 주입량과 초기 설정 온도에 대한 건조 후 염분, 알칼리도, 유기물 함유량 변화값의 추정회귀계수 적절성을 판단하기 위한 분산분석을 나타낸 표이다. 생석회 주입량과 초기 설정 온도에 대한 건조 후 염분, 알칼리도, 유기물 함유량의 추정 회귀 계수를 살펴보기 위하여 P-value 값을 확인하였다. 확인 결과 신뢰 수준을 95 %로 하였을 때 수분 및 유기물 함유량의 P-value값이 0.05보다 작은 값을 나타내는 것으로 보아 생석회 주입량에 대해 유의하다고 판단되었다. 또한 실험의 상관관계를 나타내는 R^2 의 값은 염분의 경우 77.86 %, 알칼리도의 경우 상대적으로 낮은 값인 53.02 %, 유기물 함유량의 경우 77.50 %의 값을 나타냈다.

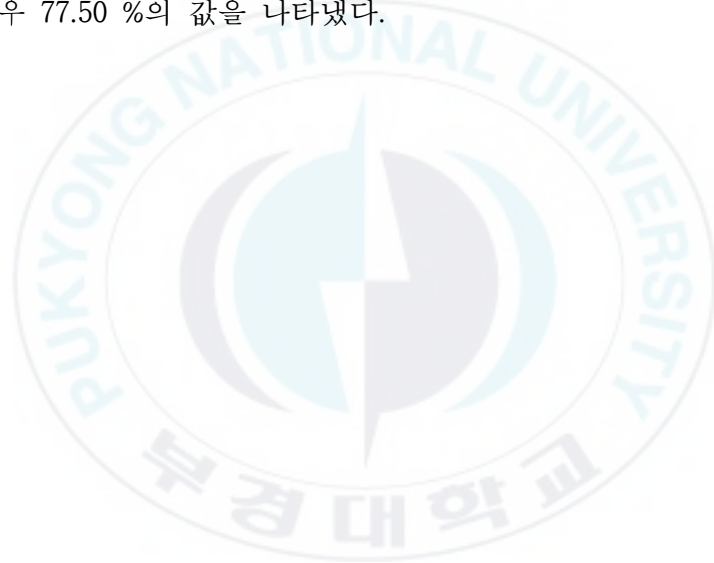


Table 4.9 Results of salinity, alkalinity, organic matter after drying for each experimental condition

Case	Conditions		Results		
	Input CaO (%)	Initial temperature (°C)	Salinity (%)	Alkalinity (%)	Organic matter contents(%)
1	12	19	1.3	18.9	22.0
2	12	28	0.6	19.2	21.4
3	12	19	1.3	15.3	28.0
4	16	13	0.8	20.1	24.3
5	16	25	1.1	21.2	15.5
6	12	19	1.2	16.9	26.4
7	12	10	1.2	13.8	18.3
8	6	19	2.0	13.7	37.5
9	18	19	0.9	22.3	20.8
10	12	19	1.1	17.4	25.7
11	12	19	1.3	17.9	26.2
12	8	25	2.0	16.2	36.3
13	8	13	2.0	15.4	40.2

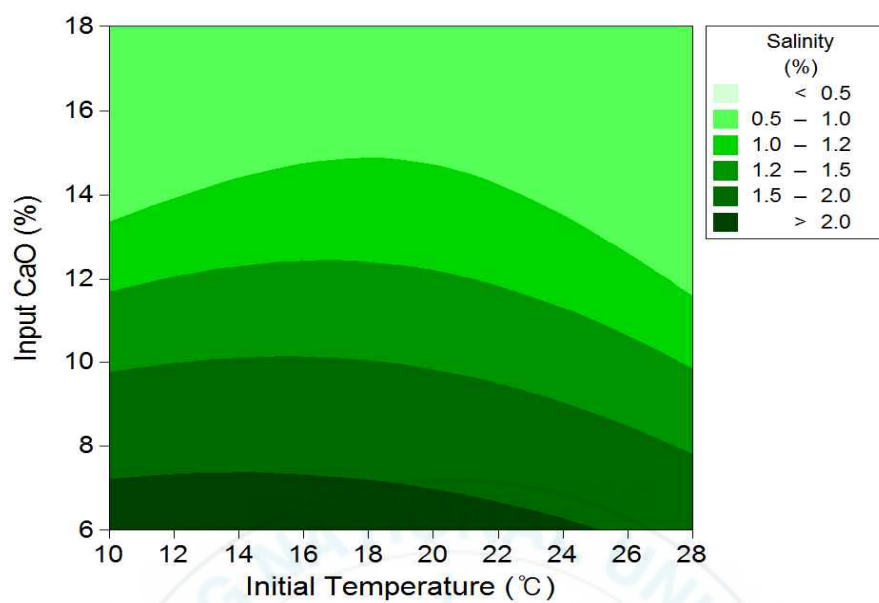


Fig. 4.14 Variation of salinity value with drying in accordance with input Cao (%) and initial temperature (°C).

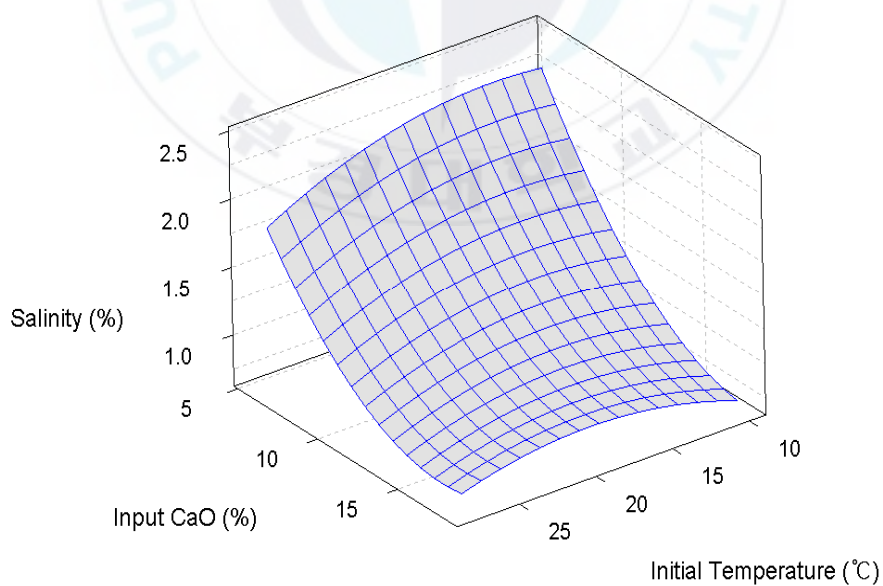


Fig. 4.15 Three-dimensional response surface plot of salinity with drying by input Cao (%) and initial temperature (°C).

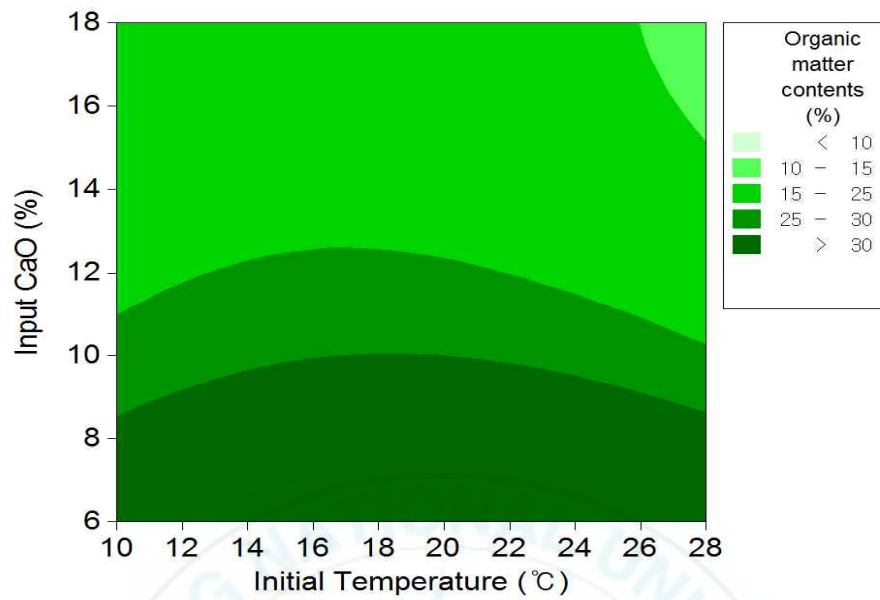


Fig. 4.16 Variation of organic matter contents value with drying in accordance with input Cao (%) and initial temperature (°C).

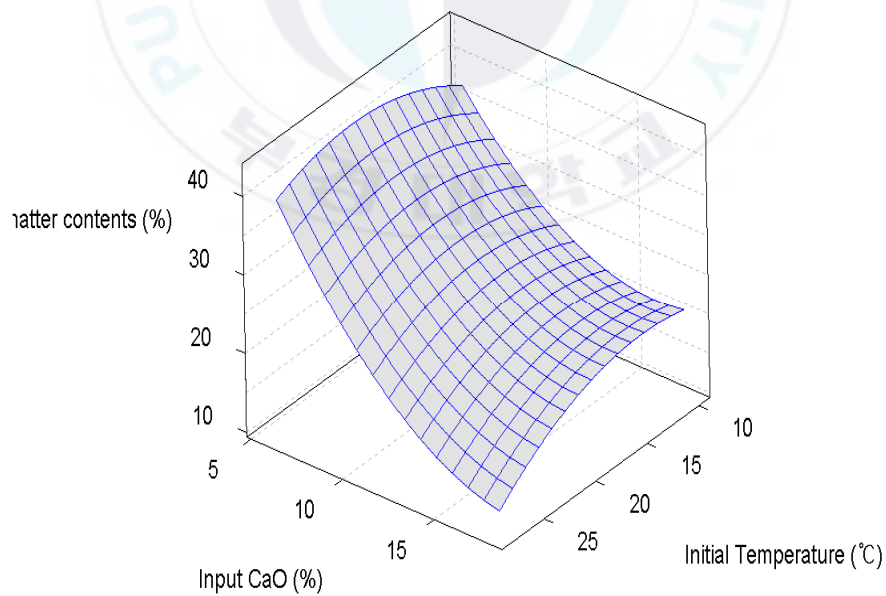


Fig. 4.17 Three-dimensional response surface plot of organic matter contents with drying by input Cao (%) and initial temperature (°C).

Table 4.10 Estimated regression coefficients for with drying salinity of lime treated fertilizer

Term	Coefficient	SE coefficient	T-value	P-value
Constant	1.17642	0.09291	12.662	0
Input CaO	-0.43837	0.08948	-4.899	0.001
Initial temperature	-0.06564	0.08948	-0.734	0.484
Input CaO * Input CaO	0.16476	0.08913	1.848	0.102
Input CaO * Initial temperature	0.0548	0.13044	0.42	0.685

R-Sq = 77.86 %

Table 4.11 Estimated regression coefficients for with drying alkalinity of lime treated fertilizer

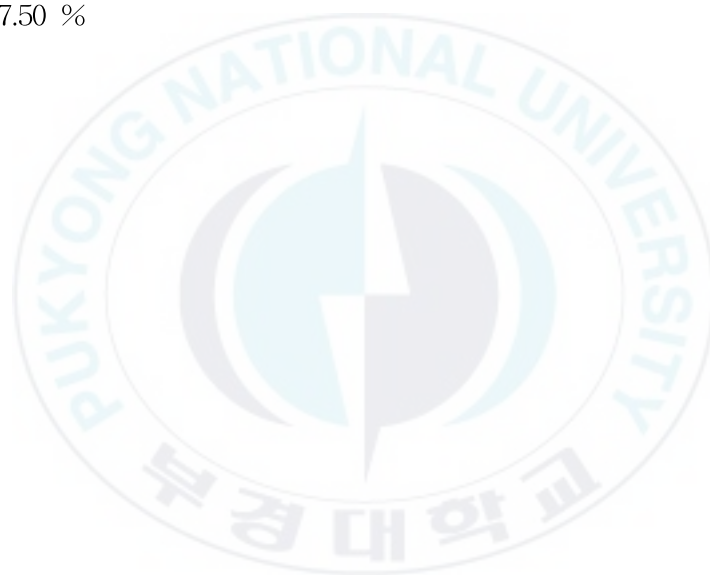
Term	Coefficient	SE coefficient	T-value	P-value
Constant	17.2305	0.7248	23.774	0
Input CaO	-2.0433	0.6981	-2.927	0.019
Initial temperature	0.2402	0.6981	0.344	0.74
Input CaO * Input CaO	-0.1121	0.6953	-0.161	0.876
Input CaO * Initial temperature	-0.5717	1.0176	-0.562	0.59

R-Sq = 53.02 %

Table 4.12 Estimated regression coefficients for with drying organic matter contents of lime treated fertilizer

Term	Coefficient	SE coefficient	T-value	P-value
Constant	24.5482	1.555	15.783	0
Input CaO	-7.2539	1.498	-4.842	0.001
Initial temperature	-0.9367	1.498	-0.625	0.549
Input CaO * Input CaO	2.7566	1.492	1.848	0.102
Input CaO * Initial temperature	-1.2161	2.184	-0.557	0.593

R-Sq = 77.50 %



4.4 반응표면 분석법을 이용한 최적 실험조건 구성 요소

생석회 주입량과 초기 온도에 따른 분석 결과값을 비교하여 최적의 생석회 주입량과 초기 온도 설정을 산정하기 위하여 반응 최적화 분석을 실시하였다. 생석회 주입 반응 후의 pH 값은 11.5 ~ 12, 염분의 농도 값은 1 ~ 2 %, 알칼리도의 값은 15 ~ 17 % 로 결과 값을 얻기 위한 실험 조건은 Fig. 4.20에 나타난 바와 같이 중복 면적으로 표시하였다.

또한 최적화 분석을 통해 생석회 주입량과 초기온도의 최적값을 수치화하여 Fig. 4.21에 나타냈으며, 생석회 주입량은 11.0 %, 초기 온도는 22.0 °C 일 때 석회처리비료 기준치에 합당한 결과를 얻을 것으로 판단된다 (Table 4.13).

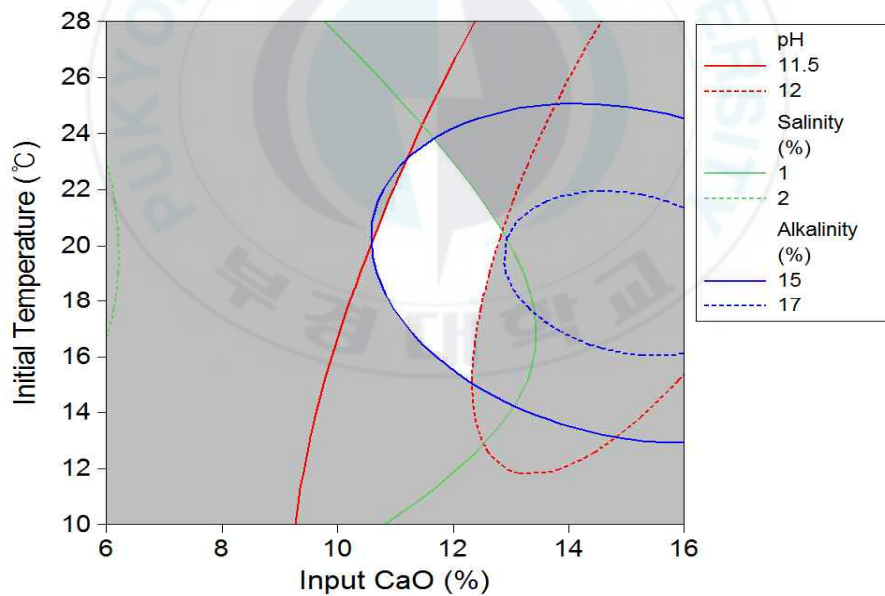


Fig. 4.18 Superimposing contour map of optimized conditions for pH, salinity, alkalinity of input CaO (%) and initial temperature (°C).

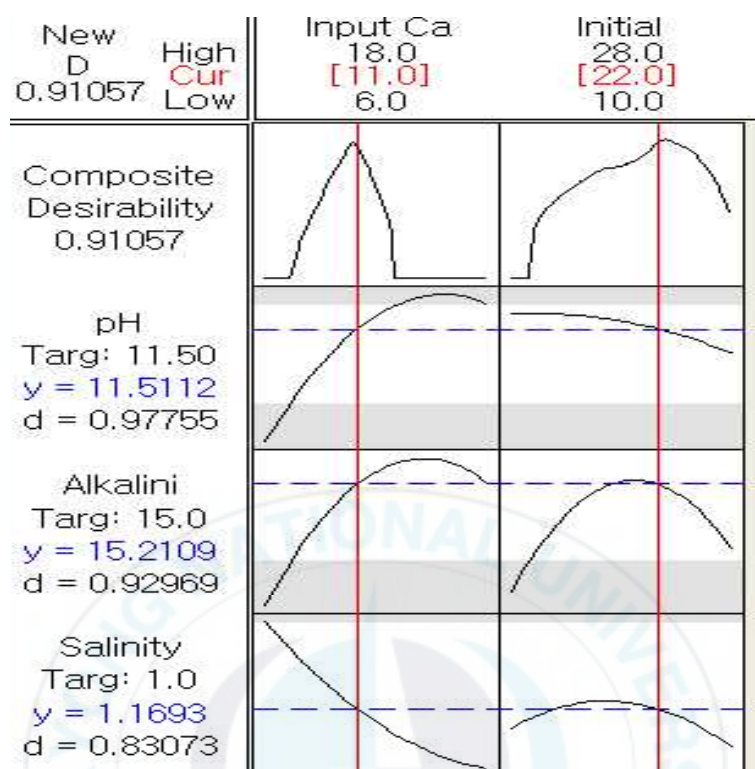


Fig. 4.19 Optimazation of pH, alkalinity, salinity value by regulating input Cao (%) and initial temperature (°C).

Table 4.13 Optimized experimental condition values

Experimental Comdition	Experimental values
Input CaO (%)	11.0
Initial temperature (°C)	22.0

제 5 장 결 론

반응표면분석법을 이용하여 초기 음식물류 폐기물의 온도와 생석회의 주입량을 변화시켜 음식물류 폐기물 석회처리 비료 제조 공정의 경제적인 운전 조건을 제시한 결과는 다음과 같다.

1) 음식물류 폐기물의 석회처리공정에서 살균 등을 위한 석회반응온도 100 ℃ 이상을 올리기 위한 생석회주입량은 음식물류 폐기물의 10 % 무게비로 주입하고, 음식물류폐기물의 초기온도가 온도가 20 ℃ 이상이었다.

2) 석회처리비료의 pH를 11.5 이상 유지하기 위한 생석회주입량은 음식물류 폐기물의 10.0 % 무게비로 나타났다.

3) 석회처리비료의 기준인 염분 농도를 2 % 이하로 유지하기 위한 생석회 주입량은 6 % 이상이었고, 음식물류폐기물의 초기온도는 20 ~ 23 ℃ 부근으로 나타났다.

4) 석회처리비료의 기준인 알칼리도의 농도를 15 % 이상으로 유지하기 위한 생석회 주입량은 12 % 이상이었고, 음식물류폐기물의 초기온도는 20 ℃ 부근으로 나타났다.

5) 석회처리공정에서 반응온도를 100 ℃ 이상 올리고, 석회처리비료의 pH를 11.5 이상 유지하고, 석회처리비료 기준인 염분 농도 2 % 이하를 유지하고, 석회처리비료의 기준인 알칼리도의 농도를 15 % 이상 유지하기 위해 반응표면분석법에 의하여 최적화하면 생석회 주입량은 11.0 % 이상, 음식물 폐기물의 초기 온도는 22 ℃ 부근으로 제시된다.

참 고 문 헌

- César Valderrama, Ricard Granados, José Luis Cortina., (2013), Stabilisation of dewatered domestic sewage sludge by lime addition as raw material for the cement industry: Understanding process and reactor performance, *Chemical Engineering Journal*, 232, 458 - 467
- Chan, M.T., Selvam, A., Wong, J.W.C., (2016) Reducing nitrogen loss and salinity during 'struvite' food waste composting by zeolite amendment. *Bioresour. Technol.* 200, 838 - 844
- Kwon, S.H., Lee, D.H., (2004) Evaluating Korean food waste composting with fedbatch operation II: using properties of exhaust gas condensate. *Process Biochem.* 39, 1047 - 1055
- Lee, J.E., Rahman, M.M., Ra, C.S., (2009) Dose effects of Mg and PO₄ sources on the composting of swine manure. *J. Hazard. Mater.* 169, 801 - 807
- Nakasaki, K., Akakura, N., Atsumi, K., (1998) Degradation patterns of organic material in batch and fed-batch composting operations. *Waste Manage. Res.* 15, 484 - 489.
- Namkung, K. C. and Jeon, C. O., (2010). Pretreatment of waste-activated sludge for enhancement of methane production. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 38(4), 362-372
- Wang, X., Selvam, A., Chan, M.T., Wong, J.W.C., (2013) Nitrogen conservation and acidity control during food wastes composting through struvite formation. *Bioresour. Technol.* 147, 17 - 22
- Xuan Wang, Ammaiyappan Selvam, Jonathan W.C. Wong, (2016), Influence of lime on struvite formation and nitrogen conservation during food waste composting, *Bioresource Technology*
- 강현찬, 김광수, 조명호 (1996), 질석을 이용한 유기성 폐기물의 유기질 비료화, *한국자원공학회지*, 33, 75-81
- 김계훈 (2006), 토양학, 향문사

- 김기열 (2002), 산화칼슘과 유기성 폐기물을 이용한 토양개량제의 특성과 작물에 미치는 영향, 영남대학교 석사학위논문
- 농촌진흥청 (2014), 비료 공정 규격 설정 및 지정
- 농촌진흥청 (2015), 비료의 품질검사방법 및 시료채취 기준
- 박인근 (2000), 비료 알고 씹시다
- 시민환경기술센터 (2010), 음식물쓰레기 자원화 방법 및 특성
- 신수명, 장기운, 이종진, 한기필, 홍주화, 전한기 (2006), 음식물쓰레기를 이용한 석회처리비료 처리에 따른 토양의 이화학적 및 작물의 수량, 유기성 자원학회 추계 국제 심포지엄 및 학술논문 발표, 269-273
- 신제성, 한기학 (1984), 산업폐기물의 비료화, 한토비지, 27, 68-70
- 오세진, 김성철, 오승민, 고태열, 옥용식, 양재의 (2015), 석회물질을 이용한 중금속 오염 농경지 토양의 중금속 생물유효도 감소, 한국토양비료학회 대한민국 흙의 날 제정 기념행사 및 춘계학술박람회
- 이상우, 함선녀, 신태수, 김혜경, 연익준, 김광렬 (2009) 토양으로부터 분리한 토착 유효미생물을 이용한 음식물쓰레기의 자원화, 대한환경공학회, 35-41
- 이상준, 오해석, 김준규, 정연규 (2007), 생석회와 폐실리카를 이용한 탈수슬러지의 복토재 이용 가능성 검토, 대한환경공학회, 1353-1356
- 이성호, 박기수 (2004), 석회안정화를 이용한 음식물쓰레기의 자원화방안에 관한 연구, 환경공학회지, 9(1), 179-190
- 이성호, 박기수 (2005), 생석회를 이용한 음식물쓰레기의 토양개량제에 관한 연구
- 이승훈 (2008), Minitab을 이용한 공학통계 자료분석, (주)이레테크
- 자원순환사회연대 (2000), 음식물쓰레기 자원화 방법 및 특성
- 윤선영, 고현웅, 정별길, 정유진, 신현옥, 강동효, 이원건, 성낙창 (2004), 석회안정화공정을 이용한 도시하수슬러지의 자원화 가능성 평가, 대한환경공학회 춘계학술연구발표회, 945-946
- 정별길, 신현옥, 강동효, 김정권, 윤태경, 이원건, 성낙창 (2004), 생석회를 이용한 음식물쓰레기의 자원화, 환경공학회 춘계학술연구 발표회, 616-617

최창원, 정윤수, 이진원, 김월중 (2012), 음식물쓰레기 정책의 변천과 재활용
정책의 실태 분석

환경부 (2012), 음식물류 폐기물 관리정책 방향 및 개선방안 연구

환경부 (2013), 음식물쓰레기 종량제 성과평가 및 발전방안 마련 연구

