

## 6시그마를 이용한 남은 음식물 사료화 공정 분석 Analysis of a Food waste Conversion process into Animal Feed using 6-sigma

황성규*	이중용*	김영주*
정회원	정회원	정회원
S. K. Hwang	J. Y. Rhee	Y. J. Kim

### 1. 서론

우리나라에서 하루에 발생하는 남은 음식물의 양은 2002년 기준으로 1만 1,237톤이며 연간 발생하는 남은 음식물의 양은 약 410만여 톤으로 8톤 트럭 1,400여 대에 달한다. 이런 남은 음식물의 자원화 방법에서는 사료화, 퇴비화, 소각, 매립, 하수병합, 연료화, 감량화 등이 있는데, 현재까지 남은 음식물의 자원화 방법에는 주로 매립 또는 소각에 의해 처리되어 왔으나, 매립의 경우 침출수가 발생되어 지하수 오염과 악취를 유발하고 특히 2005년부터는 폐기물관리법에 의거 시 단위 이상 지역에서 발생하는 남은 음식물의 직매립을 금지하도록 입법화되어 매립이 불가능하게 되었으며, 소각시의 경우 남은 음식물은 수분이 많고 열량이 낮아 추가로 소요되는 연료로 인한 경제성 문제와 대기오염이라는 2차적인 환경 문제 등이 생기면서 남은 음식물의 경제적이고 효율적인 재활용 방법 개발의 필요성이 대두 되고 있다. 남은 음식물의 재활용 방법 중 하나인 사료화는 현재 약 50%로서 가장 많은 비중을 차지하고 있지만, 이에 대한 연구는 아직 미미한 상태이다.

본 연구에서는 고객의 관점에서 사고하여 결함발생가능성을 사전에 제거하는 경영혁신 활동인 6시그마를 이용하여 남은 음식물 사료화 사업의 문제점을 짚어보고 객관적이며 논리적인 방법으로 해결하여 공정의 경제적인 향상을 기하여 공정개선안을 도출하고자 한다. 그러나 아직까지 다른 산업시설 등에 비해 공정 및 각 공정에서 사용되어지는 기기의 체계화가 되어있지 않아서 6시그마 적용을 위한 공정별 계량작업 및 선정의 어려움이 따랐다.

본 연구의 목적은 남은 음식물 사료화 공정을 좀더 체계화하여 남은 음식물 건식사료화 공정에 필요한 기본 자료 제공과 동시에 효과적인 남은 음식물 건식사료화 공정을 설계 운전할 수 있게 하는 것이다.

### 2. 재료 및 방법

#### 2.1. 6시그마의 이론적 고찰

6시그마는 고객에게 제품 또는 서비스를 제공함에 있어서 고객이 원하는 바를 정확히 파악하고 통계적으로 하나씩 해결하며, 끊임없이 발전하기위한 노력으로 고객에게 좋은 품질을 제공하여야 하겠다는 강한 의지가 담겨져 있는 경영으로 6시그마의 품질 수준은 10억 개당 2개의 불량품이 발생하게 되어 불량률은 0.002ppm(parts of million)이 된다. 하지만 공정 평균은 목표치에 정확히 일치되지 않는다. 일반적으로 5M1E(Man, Machine, Method, Material

---

\* 서울대학교 농업생명과학대학 바이오시스템공학과

, Measure, Environment)의 특성 차이로 인하여 공정평균은 규격의 상한이나 하한 쪽으로 치우치게 된다. 이러한 치우침은 장기적으로 볼 때 공정의 표준편차의  $\pm 1.5$ 배 정도의 범위 내에서 움직인다고 알려져 있다. 이와 같이 공정평균의 이동을 고려한 불량률은 6시그마의 경우 어느 한쪽으로 3.4ppm이 된다. 즉, 제품 백만 개 당 3.4개 정도의 불량품이 발생하게 된다.

## 2.2 6시그마의 문제해결 방법 및 기법

6시그마는 제조, 연구, 영업, 마케팅, 사무 간접 부문별로 차별화된 6시그마 방법론을 적용하는데 본 연구는 제조분야 이므로 6시그마의 문제 해결 접근법 중 DMAIC(Define, Measure, Analyze, Improve, Control)를 선정 하였다.

DMAIC의 첫 번째 단계인 Define에서는 프로젝트 선정을 하고, 두 번째 단계인 Measure에서는 문제점 선정과 공정능력측정을 한다. 세 번째 단계인 Analyze에서는 통계적 분석을 통해 문제점 파악을 하고 네 번째 단계인 Improve에서는 개선방안을 제시하고 마지막 단계인 Control에서는 향후 관리를 하게 되는데 본 연구에서는 마지막 단계인 Control은 생략하게 되었다.

## 2.4. DMAIC 단계별 접근 방법

### 2.4.1. Define

본 연구에서는 우선 설문 조사와 프로세스 분석을 통해 프로젝트선정을 하였는데 우선 문헌 및 연구 자료를 참고하여 기존에 남은 음식물 사료화의 문제점에 대해 조사를 한 후 이 문제점들을 바탕으로 설문지를 작성하여 2005년 3월 한 달 간 음식물 사료화 업체 6곳과 전문가 4명을 대상으로 10점 만점으로 위험순위를 선정하는 것으로 설문조사를 하였다.

### 2.4.2. Measure

#### 2.4.2.1. CTQ 선정

품질 특성 중에서 고객의 요구에 가장 중요한 영향을 미치는 특성을 CTQ(Critical To Quality)라고 하는데 CTQ는 두 가지 특성을 가져야 한다. 첫째는 측정이 가능해야하며, 둘째는 성과의 표준이 되는 것이다.

#### 2.4.2.2. 데이터 신뢰성 확인을 위한 정규성 검증

본 연구에서 수집할 데이터는 시간으로 계량형 데이터로 수집한 데이터가 정규분포를 이루고 있는지를 검증하는데 Minitab으로 P-Value로부터 정규성 검정을 한다.

#### 2.4.2.3. 공정 능력 파악

공정 능력이란 공정에 있어서의 달성능력 즉, 일정 기간을 통하여 안정된 공정상태에서 설계규격에 얼마나 일치하는 제품을 만들어 낼 수 있는가를 나타내는 척도로서 현재의 프로세스가 결함이 없는 제품 또는 서비스를 생산할 수 있는 능력으로 본 연구에서는 공정능력 지수에 의한 방법을 사용하였다. 공정능력지수의 해석은 일반적으로 기업의 특성과 제품의 특성에 맞게 기업 자체적으로 기준을 설정해 놓는 것을 사용한다. 표 1에 공정능력 판단기준을 제시해 놓았는데 대체적으로  $C_{pk} \geq 1.67$  이상을 우수한 등급으로 설정하였으며 6시그마를 달성하기 위해서는 최소  $C_{pk} \geq 1.5$ 를 만족 시켜야한다.

Table 1. Estimation according to  $C_{pk}$  value

Grade	$C_{pk}$	Estimation	PPM
1	$C_{pk} \geq 1.67$	Excellence	0.6
2	$1.67 > C_{pk} \geq 1.33$	Good	0.6 ~ 63
3	$1.33 > C_{pk} \geq 1.00$	Normal	63 ~ 2,700
4	$1.00 > C_{pk} \geq 0.67$	Insufficient	2,700 ~ 45,500

### 2.4.3. Analyze

분석 단계는 측정단계에서 찾아낸 CTQ를 좀더 구체적으로 파악하는 것으로 CTQ에 영향을 미치는 잠재인자를 규명하여 데이터를 통계적인 분석이 가능하게 하는 것으로 특성요인도(Cause & Effect Diagram)를 이용하여 선정하였으며 이에 따르는 핵심인자는 X-Y Matrix를 이용하여 좀 더 구체화 하였다.

### 2.4.4. Improve

분석단계에서 파악된 잠재인자를 품질특성에 영향을 끼치는 인자들을 선정하여 그것의 최적 수준을 찾는 작업인 개선안 도출을 한 후 최적조건을 실제로 공정에 적용하여 그 효과를 분석해야 된다. 개선효과를 나타내는 지표로는 ppm, Cp, Cpk, 비용 효과, 시그마 수준 등으로 나타낼 수 있다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. Define

우선 6시그마 적용을 위해 선정한 업체는 남은 음식물 사료화 업체 중 유일하게 GR (Good Recycled) 마크를 획득한 포항시 소재 Y사 이다.

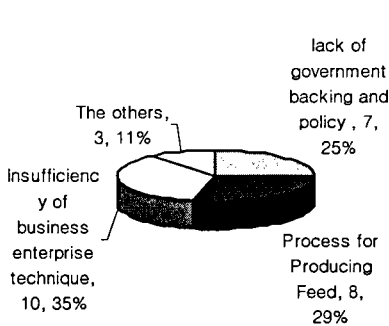


Fig. 1 Result of survey I

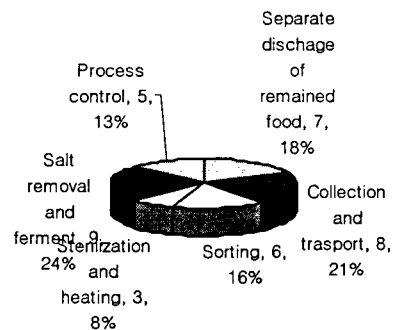


Fig. 2 Result of survey II

첫 번째 설문조사의 내용은 현재 남은 음식물 사료화에서 가장 문제점이 되는 부분은 무엇인가에 관한 것으로 정부의 지원 및 정책의 미비, 사료화공정, 업체의 기술력 부족, 기타 이다. 그림 1을 보면 결과를 알 수 있듯이 35%가 가장 문제점을 업체의 기술력 부족으로 보았다.

두 번째 설문조사 질문은 사료화 공정상에서 가장 문제점이 되는 것을 선택하는 것으로 그림 2의 결과를 보면 염분제거 및 발효장치가 24%, 수거 및 운반이 21%로 문제점이 되고 있으며, 살균 및 가열이 8%로 가장 낮은 문제점으로 지적되고 있다.

프로젝트는 설문조사에서 가장 문제점으로 대두된 염분 및 발효장치, 수거 및 운반이 대두 되었고 좀더 구체적인 선정을 위해 프로세스 맵 을 작성하였다. 그림 3의 프로세스 맵을 보면 다른 공정들에 비해 수거 및 운반의 경우가 작업시간도 길며 작업인원도 현저히 많이 필요한 것을 확인할 수 있는데 특히 단독주택의 경우는 공동주택보다 2배 이상의 인원이 필요한 것을 알 수 있다. 따라서 프로젝트는 단독주택 수거 및 운반 작업 인원과 시간으로 선정 되었다.

### 3.2. Measure

#### 3.2.1. CTQ선정

프로젝트로 선정된 단독주택 수거 및 운반 작업 인원과 시간과 연계하여 CTQ는 단독주택 수거 및 운반공정의 작업시간 축소로 선정하였는데 그 이유는 우선 측정이 가능하며 성과 표준이 되기 때문이다.

#### 3.2.2. 현상파악

남은 음식물의 배출 방법을 보면 P시의 경우 봉투에 담아서 배출하는 것과 수거통에 담아서 배출하는 것이 있는데 두 가지의 수거 시간은 동일하다고 보고 10가구 기준으로 수거 및 운반의 공정 시간을 측정하였다. 즉, 수거를 10회 하는 것이며 측정 횟수는 5회 하였다. 공정별 소요시간을 보면 표 2와 같다.

Table 2. Measure result of working time of collection and transport

Number	No. 1(second)	No. 2(second)	No. 3(second)	No. 4(second)	No. 5(second)
Take away	5.1	5	4.8	4.7	5.5
move	10.2	8.8	9.6	9.6	9.2
Take away	4	4.2	3.7	3.8	3.9
move	20.5	18.7	19.8	19.0	18.8
Take away	3.5	3.8	3.4	3.8	4.1
move	18.3	15.9	13.4	17.4	16.5
Take away	5.1	5.3	4.9	4.9	4.9
move	15.4	14.8	16.7	14.8	15.9
Take away	4.7	4.4	4.1	4.8	4.1
move	8.6	7.5	7.2	6.9	8.8
Take away	3.5	3.6	4.1	4.0	4.5
move	6.7	6	7	8	7.2
Take away	4	3.3	3.2	3.4	4.2
move	9.6	8	8.5	9.2	9.3
Take away	3.7	3.9	4.2	4.1	3.7
move	7	7.5	6.7	7.8	6.8
Take away	4.1	3.1	3.4	3.8	3.7
move	20.7	22.1	23.8	21.0	20.5
Take away	4.6	3.9	4	4.4	4.6

#### 3.2.3. 정규성 검증

그림 4에서 확인할 수 있듯이 측정된 데이터의 Probability는 거의 직선형태를 이루고 있고 P-value가 0.870으로 0.05보다 크므로 정규분포를 나타내는 것으로 확인할 수 있다.

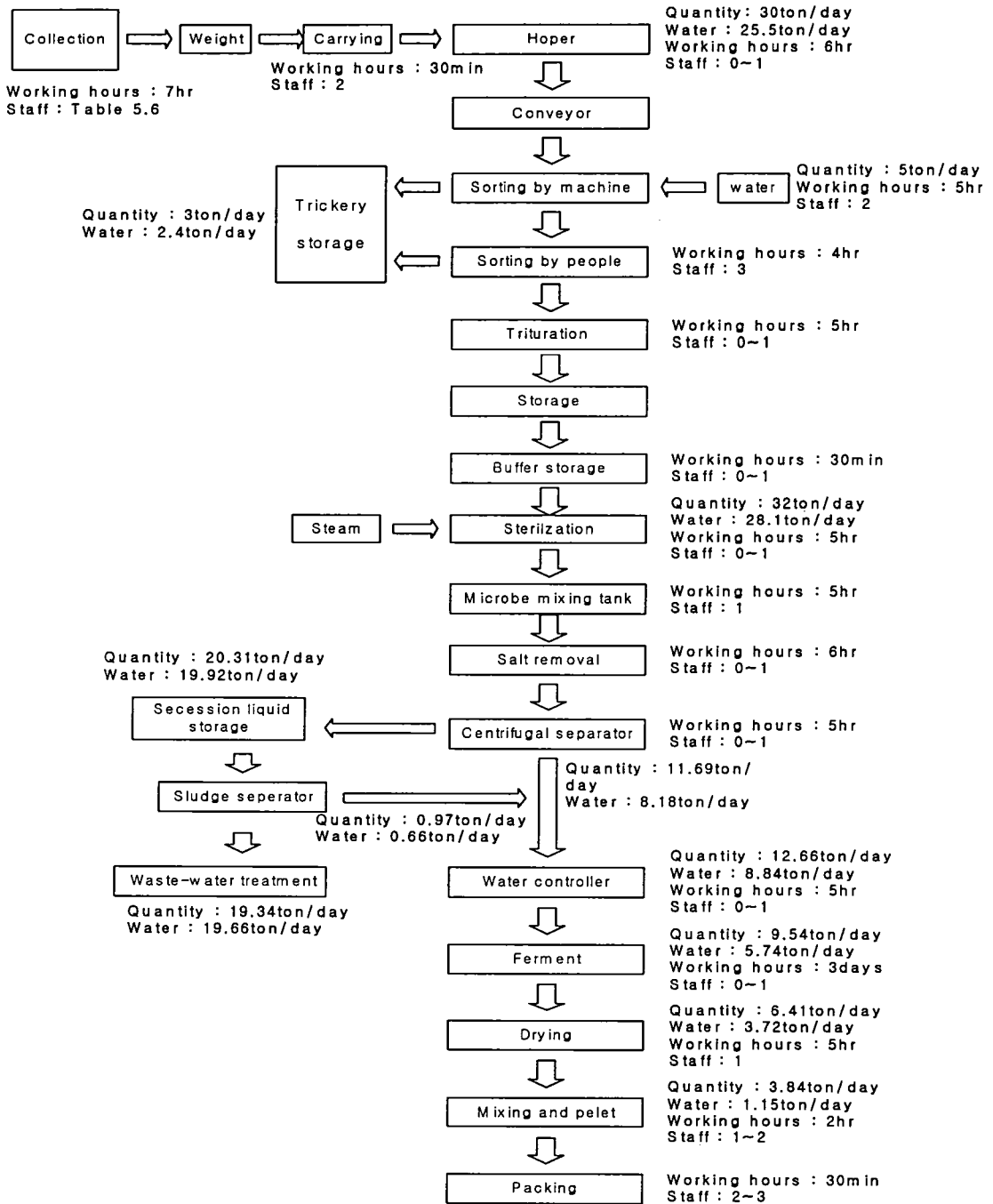


Fig. 3 Process map of feed from remained food

### 3.2.4. 공정능력

그림 5에서 알 수 있듯이 단기표준편차는 3.52394초, 장기표준편차는 3.86266이며 공정능력지수를 나타내는  $C_{pk} = 0.51$ 로 1.67보다 현저히 낮아 공정능력이 상당히 부족한 것으로 나타났다. 사실 이 값은 규격상한 값을 어떻게 정하느냐에 따라 달라질 수 있지만, 평균적으로

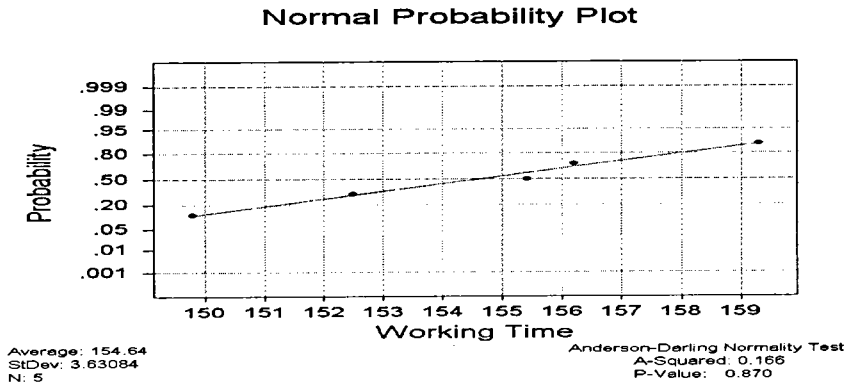


Fig. 4 Normal probability plot for working time before improvement

한가구를 수거해서 이동하는데 10~30초가 걸리는 것을 감안하였고, 특히 공동주택의 경우 60가구를 수거하는데 2~5분이 걸리는 것 비하면 현저하게 높기 때문에 규격상한을 160초로 선정하였다.

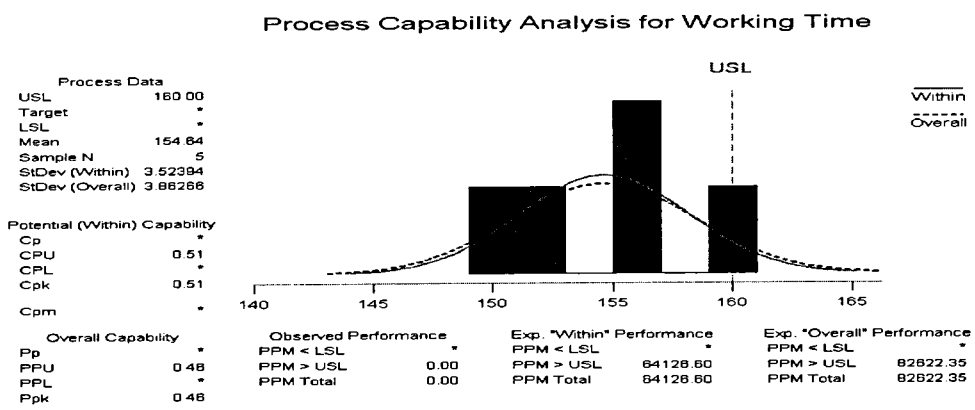


Fig. 5 Process capability for working time before improvement

### 3.3. A(분석)

그림6의 Cause and Effect Diagram 에 도출된 잠재인자들을 X-Y Matrix를 이용하여 각 잠재인자들의 위험 순서대로 등급을 매긴 결과는 표 3과 같으며 가장 문제점이 되는 잠재인자는 수거통간의 거리, 낮은 수거비, 제도 및 정책 미흡 그리고 좁은 도로 순으로 나타났다. 따라서 핵심인자를 수거통간의 거리로 보았다.

### 3.4. I(개선)

#### 3.4.1. 개선안 도출 및 정규성 검증

P시 기준으로 단독주택의 경우 수거통간의 거리는 약 2~20m이고 한가구당 수거통간 이동 시간은 약 15~30초를 기준으로 하고 있다. 측정 결과에서 보더라도 수거시간은 3~5초

### Cause-and-Effect Diagram

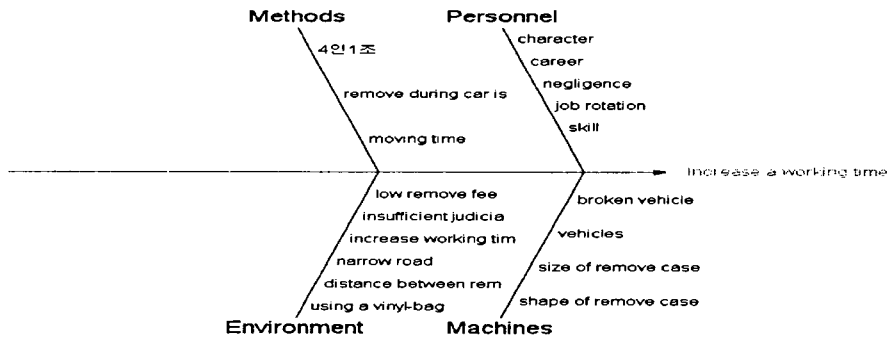


Fig. 6 Cause and Effect Diagram

Table 3. X-Y Matrix

Project	Reduction of working staff and time in collection and transport of remained food from residence	
	reduction of working time	
CTQ	Grades	Percent(%)
character	50	4.8
career	65	6.2
negligence	60	5.7
job rotation	65	6.2
skill	30	2.9
shape of remove case	51	4.9
size of remove case	50	4.8
vehicles	63	6.0
broken vehicle	30	2.8
4인1조	25	2.4
remove during car is moving	20	1.9
moving time	57	5.4
using a vinyl-bag	71	6.8
distance between remove cases	95	9.1
narrow roads	80	7.6
increase working time	70	6.7
insufficient judiciary and policy	81	7.7
low remove fee	85	8.1

이고, 수거통간 이동 시간은 6~24초이다. 따라서 가장 문제점이 되는 핵심 인자인 수거통간의 거리를 줄인다면 작업시간을 줄일 수 있을 것이다. 이것을 직접 실행하기는 어려워서 두 가구당 하나의 수거통을 쓴다는 가정을 하여 수거 및 이동시간을 계산하였다. 그래서 앞의 측정된 결과를 바탕으로 수거통 두개중 하나를 제거하는 방식으로 수거 및 이동 시간을 예측하였는데 결과는 표 4와 같으며 정규성 검증 결과 가정한 총 작업시간의 평균은 133.89초이며 정규성 검정을 한 그림 7에서 확인 할 수 있듯이 표준편차는 3.14591로 나타났으며 P-Value가 0.655이므로 정규성이 검증되었다.

Table. 4 Supposed working time of collection and transport

Number	No. 1(second)	No. 2(second)	No. 3(second)	No. 4(second)	No. 5(second)
Take away	4.55	4.6	4.25	4.25	4.7
move	30.7	27.5	29.4	28.6	28
Take away	4.3	4.55	4.15	4.35	4.5
move	33.7	30.7	30.1	32.2	32.4
Take away	4.1	4	4.1	4.4	4.3
move	15.3	13.5	14.2	14.9	16
Take away	3.85	3.6	3.7	3.75	3.95
move	16.6	15.5	15.2	17	16.1
Take away	4.35	3.5	3.7	4.1	4.15

Normal Probability Plot

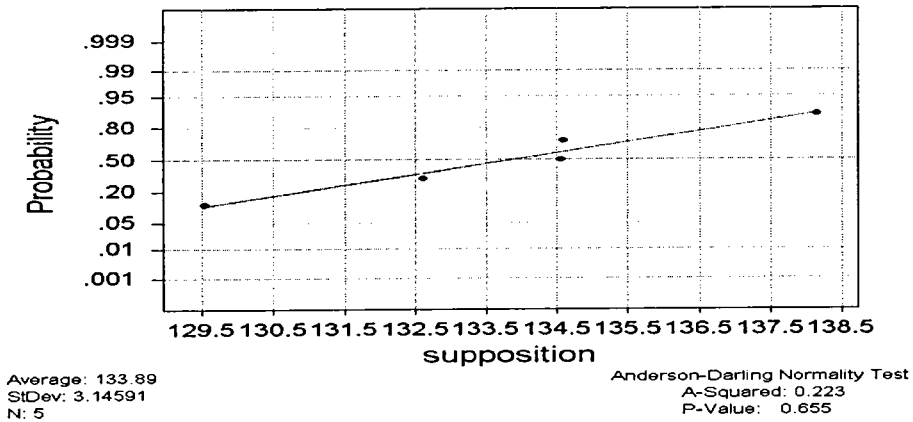


Fig. 7 Normal probability plot working time after improvement

### 3.4.2. 개선된 공정능력 평가

그림 8에서 알 수 있듯이 단기표준편차는 3.02527초, 장기표준편차는 3.34676이며 공정능력지수를 나타내는  $C_{pk} = 2.88$ 로 1.67보다 상당히 높은 수준으로 나타났다. 즉, 수거 통을 반으로 만 줄인다면 공정능력은 0.51보다 약 5배는 크게 늘어나는 것이다.

Process Capability Analysis for supposition

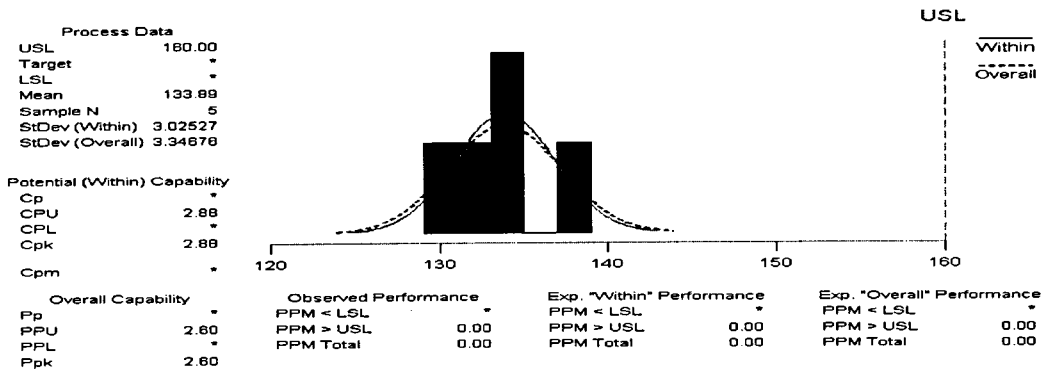


Fig. 8 Process capability for working time after improvement



#### 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 남은 음식물의 후처리 공정 중 하나인 사료화를 선정하여 지금까지 나와 있는 사료화 공정들의 분류 및 공정 진행을 나타내었고, 경영혁신활동인 6시그마를 이용하여 사료화 공정상 가장 문제점이 되는 부분과 그것을 해결하기 위한 방안을 제시 하였다.

1. 현재까지의 남은 음식물 사료화 문제점은 크게 7가지로 구체적인 내용은 음식물의 일정한 품질을 지닌 음식물의 분리배출, 수거·운반, 선별, 살균 및 가열, 염분제거 및 발효, 사료의 유통, 공정기계의 관리인데, 설문조사에 의해 수거 및 운반의 작업시간 및 인원을 6시그마의 프로젝트로 선정하였다.

2. CTQ는 수거 및 운반의 작업시간 축소로 포함시를 기준으로 단독주택의 경우 가구당 수거 및 운반 시간이 10~30초 인 것을 감안하여 규격상한 값을 160초로 하였을 때 조사한 20가구의 단기표준편차는 3.52394초, 장기표준편차는 3.86266으로 나타났으며 공정능력지수  $C_{pk} = 0.51$ 로 1.67보다 현저히 낮아 공정능력이 부족한 것으로 나타났다.

3. 개선방안으로 수거통간의 거리를 축소하는 것을 선정하였는데, 이것의 단기표준편차는 3.02527초, 장기표준편차는 3.34676이며 공정능력지수  $C_{pk} = 2.88$ 로 1.67보다 상당히 높은 수준으로 나타나 수거통을 반으로 줄이는 것만으로 공정능력은 약 5배 늘어나는 것으로 나타났다.

#### 5. 참고문헌

1. 권성환. 2002. 국내·외 음식물쓰레기 등 유기성폐기물의 관리 및 자원화/처리현황
2. 김재중. 2004. 식스시그마의 적용과 운영방법에 관한연구
3. 남은 음식물의 감량·자원화 추진실태와 과제. 2003. 인천광역시 환경녹지국
4. 노경상. 2001. 남은음식물사료에 대한 안전관리 제도
5. 박기주. 2003. 6시그마 수준 평가를 위한 제조 공정 개선 네트워크. Journal of the Korean Institute of Plant Engineering. Vol 18. No 2. p71~p83.
6. 음식물류 폐기물의 효율적인 처리방안에 대한 연구 보고서. 2003. 수도권 매립지 관리공사
7. 음식물쓰레기 자원화 시설 현황. 2002. 환경부
8. 이병석. 2002. 남은 음식물 사료 생산이용 시스템 구축방안. 축산기술연구소
9. 2002년 전국 폐기물 발생 및 처리현황. 2002. 환경부