

# 일체형 곡물 건조/저장 시스템 개발을 위한 Straight Type Sweeping Auger의 이송 특성 분석에 관한 연구

최갑용<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>아주자동차대학 자동차계열

## A Study on the Conveying Characteristic Analysis of Straight Type Sweeping Auger for Development of Combined Grain Drying and Storage System

Kab-Yong Choi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Division of Automobile, Ajou Motor College

**요약** 본 연구는 일체형 곡물 건조/저장 시스템에 채용되고 있는 Straight Type Sweeping Auger에 대한 성능과 적합성 검사를 실험을 통하여 검증하였다. 일체형 곡물 건조/저장 시스템의 핵심 기술은 선입선출을 가능토록 하는 Sweeping Auger의 설계기술에 있다. 바람직한 Sweeping Auger의 설계방향을 제시하기 위하여 Straight Type Sweeping Auger가 곡물 속에서 회전할 때 원주면에서 유동하는 곡물의 거동을 알아보기 위한 실험을 실시하고 결과 분석을 통하여 원인규명을 하였다.

**Abstract** This study verify the conveying characteristic and adaptability of Straight Type Seeping Auger(STSA) which is built in Combined Grain Drying and Storage System(CGDSS). It is very important to design sweeping auger which makes Combined Grain Drying and Storage System having First-In-First-Out. In order to suggest desirable idea for sweeping auger of Combined Grain Drying and Storage System, an experiment that behavior of grain on the boundary surface which is made by rotation of STSA is executed and causalities to be given problem of STSA are pointed out.

**Key Words** : Sweeping Auger, Straight Type Sweeping Auger, Grain Drying and Storage System, First In First Out, FIFO, Process Control, Boundary Surface, semi-fluid

### 1. 서론

화석 에너지의 고갈은 대체 에너지 개발의 필요성을 증대시키고 있다. 이에 따라 바이오 에너지가 주목을 받으면서 세계적으로 곡물확보 문제가 원유확보 문제와 같은 새로운 국면을 맞게 되었다. 곡물은 원유와 달리 저장성이 취약하기 때문에 품질 유지에 고비용의 저장시스템과 운영시스템이 필요하다. 이와 같은 이유로 경제적인 저장/운영 시스템 개발에 많은 분야에서 연구가 진행되고 있다[1]. 본 연구도 이와 같은 취지에서 추진되었다.

지금까지 가장 널리 보급되고 있는 곡물 건조와 저장시스템은 [그림 1]과 같이 건조시스템과 저장시스템을 따로 두는 이중구조로 되어 있다. 그러나 최근에 [그림 2]와 같은 일체형 곡물 건조/저장 시스템(이하 일체형 건조/저장 시스템이라 칭한다.)이 개발되어 주목을 받고 있다. [그림 2]의 (A)는 개념도이고 (B)는 실제 시스템이다. [그림 2]의 개념도 (A)에서는 [그림 1]에 있는 열풍건조기를 따로 두지 않고 저장 시스템과 하나로 결합되었다는 것을 보여주고 있다.

일체형 건조/저장 시스템은 총제작비용, 건조 에너지비

본 논문은 2008년도 (주)두손과 산학협동연구과제로 수행되었음.

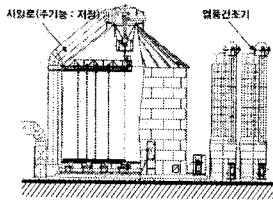
\* 교신저자: 최갑용(kychoi@motor.ac.kr)

접수일 09년 01월 30일

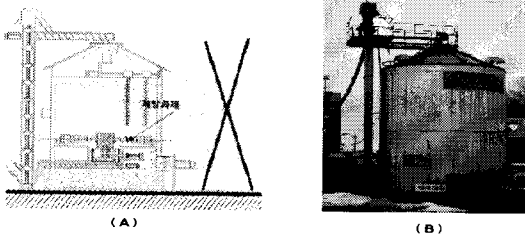
수정일 09년 03월 16일

게재확정일 09년 03월 23일

용 및 유지/관리 비용을 절감할 수 있을 뿐만 아니라 저장물의 상태를 실시간으로 감시하면서 상황에 민첩하게 대응할 수 있도록 해주는 장점을 가지고 있다.



[그림 1] 분리형



[그림 2] 일체형 개념도와 실물

본 연구는 일체형 건조/저장 시스템의 핵심요소라고 할 수 있는 Sweeping Auger(이하 SA로 칭한다.)의 연구에 초점을 맞추고 있다. 본 연구를 통하여 경제적인 곡물의 저장과 품질보존에 기여하고 더 나아가 농업발전에도 기여할 수 있기를 바란다.

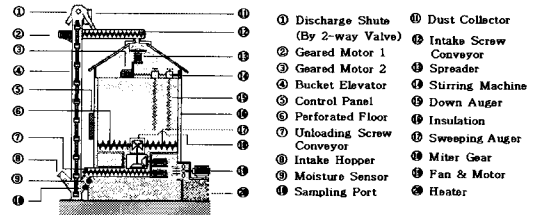
본 연구의 대상이 되는 일체형 건조/저장 시스템은 (주)D사에 의하여 개발되었다. A대학과 산학협동을 맺고 있는 (주)D사는 국내는 물론 해외에서도 널리 알려진 곡물저장/처리 시스템 제작 전문 업체이다. 지금까지 일체형 건조/저장 시스템은 Straight Type SA(이하 STSA라 칭한다.)를 채용해 왔다. 그러나 성능발휘에 문제가 있는 것으로 판단되어 개선을 위한 연구가 필요하게 되었다[2].

따라서 본 연구는 다음과 같은 두 가지 목적을 위하여 추진된다. 하나는 일체형 건조/저장 시스템용 STSA의 문제점에 대하여 실험을 통하여 분석한 후 적합성 여부를 판별하는 것이다. 그리고 다른 하나는 앞의 결과분석을 토대로 일체형 건조/저장 시스템에 적합한 SA를 개발하는 방향을 제시하는데 있다.

이 후 본 연구의 추진 순서는 다음과 같다. 먼저 곡물 속에서 회전하는 STSA의 경계면에서 일어나는 곡물의 거동분석 실험(이하 '경계면 거동분석 실험'이라 칭한다.)을 실시한 후 결과분석을 통하여 STSA의 문제점을 분석

하고 적합성여부를 판별한다. 이어서 경계면 거동분석 실험의 결과를 토대로 문제 해결 방향을 제시한다.

## 2. 일체형 건조/저장 시스템의 개요



[그림 3] 일체형 건조/저장 시스템의 구조

일체형 건조/저장 시스템의 구조는 [그림 3]과 같다. 탈곡 직후의 곡물은 수분함량이 많기 때문에 변질이 일어나기 전에 일정수준으로 건조시키고 또 지속적으로 안전한 상태를 유지시켜야 한다. 일체형 건조/저장 시스템은 수분함량이 많은 곡물을 ④ Bucket Elevator와 ⑫ Intake Screw Conveyor를 이용하여 시스템 상층부로 운반해서 ⑬ Spreader를 이용하여 시스템 내부에 골고루 뿌리면서 장입시킨다. 장입된 곡물은 곧바로 하부에 있는 건조시스템을 이용하여 수분함유량이 일정 수준에 이를 때까지 건조시킨다. 이 때 ⑮ Down-Auger는 공급되는 건조 풍이 곡물사이를 잘 통과될 수 있도록 교반시키는 역할을 한다. 건조풍의 공급으로 바닥면에서 가장 먼저 건조가 일어난다. 건조가 완료되거나 희망하는 수준에 도달한 곡물은 ⑰ SA에 의하여 ⑦ Unloading screw conveyer로 이송된 후 시스템 외부로 배출된다. 이 때 필요에 따라서 완전히 외부로 배출시키거나 재 장입이 이루어지기도 한다. 그리고 저장기간 동안에는 지속적으로 시스템 내의 상태를 감시하면서 적절한 상태를 유지할 수 있도록 한다.

## 3. STSA의 경계면 거동 분석 실험

본 장에서는 SA의 역할과 기능, 실험의 목적과 필요성에 대하여 소개한다. 이어서 실험계획의 수립과 실험방법 설계에 이어 데이터를 수집하는 과정을 소개한다.

### 3.1 SA의 역할과 기능

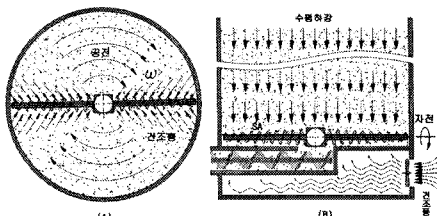
일체형 건조/저장 시스템의 핵심기술은 곡물을 장입된 순서에 따라 빠짐없이 순서에 따라 순환시킬 수 있도록 하는 것이다. 이를 본 연구에서는 '선입선출'이라 부르기

로 한다. 곡물의 선입선출(First In First Out, FIFO)은 프로세스 제어과정이기 때문에 보편적인 의미로 이해하기 보다는 프로세스 제어(Process Control)공학적 차원에서 이해되어야 된다. 프로세스 제어에서는 시스템의 '가제어성'과 '안정성'을 보장하기 위하여 '시스템의 입력은 입력과 동시에 시스템 전체에 전달되어서 전체 시스템이 동일한 상태에서 처리될 수 있어야 한다.'는 것을 전제로 하고 있다[3]. 그러나 실제 시스템의 경우는 '자연'이나 '불감'이 문제가 되기 때문에 교반기를 설치하여 전제조건을 최대한 충족시키고 있다. 따라서 프로세스 제어의 성공 여부는 교반기의 성능에 달려있다고 할 수 있다. 이와 같은 관점에서 선입선출은 '동일한 시점에서 건조영역에 들어온 곡물은 동일한 단위 공전시간 내에 처리되도록 하는 것.'으로 이해되어야 한다[4,5]. 그리고 거시적인 관점에서 볼 때 [그림 3]의 ④ Bucket Elevator, ⑦ Unloading screw conveyer, ⑫ Intake Screw Conveyor, ⑬ Spreader, ⑮ down auger와 ⑰ SA는 모두 교반기의 역할을 한다고 볼 수 있다. 그러나 이들 중에서 선입선출기능에 가장 직접적이고 중요한 역할을 담당하는 것은 SA이다. 바로 이 SA에 의하여 선입선출이 이루어지기 때문에 SA는 일체형 건조/저장 시스템을 성립시키는 핵심요소가 된다고 할 수 있다. [그림 4]는 SA의 실물 모형이다. 한 개의 시스템에 2개씩 짝으로 이용된다.



[그림 4] Sweeping Auger

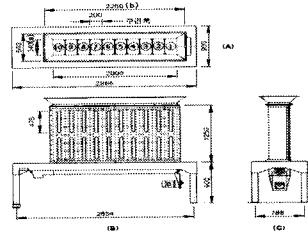
SA의 공전은 [그림 5]의 (A)와 같이 저장된 곡물을 사방에서 골고루 배출될 수 있도록 하는 역할을 하고, 자전은 [그림 5]의 (B)와 같이 안쪽과 바깥쪽의 곡물을 골고루 배출될 수 있도록 해서 시스템 내에 있는 곡물 전체가 수평하강 즉 '선입선출'이 이루어지도록 하는 역할을 한다. 그러나 자전에 의한 효과가 결정적인 역할을 하기 때문에 본 연구는 이에 초점을 맞추고 있다.



[그림 5] SA의 공전과 자전

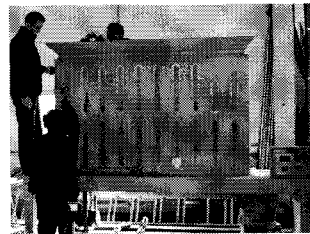
### 3.2 실험장치 설계/제작

본 연구의 특징은 특별히 설계/제작한 [그림 6]의 실험장치를 이용하는 것이다. 본 실험 장치는 현장의 실제상황을 재현할 수 있도록 실물크기로 제작하였으며 동시에 실험의 효율성도 고려하여 설계되었다. 그리고 본 연구 외에도 효율실험, 구동력 테스트 등 일체형 건조/저장 시스템과 관련한 다양한 실험을 할 수 있다.



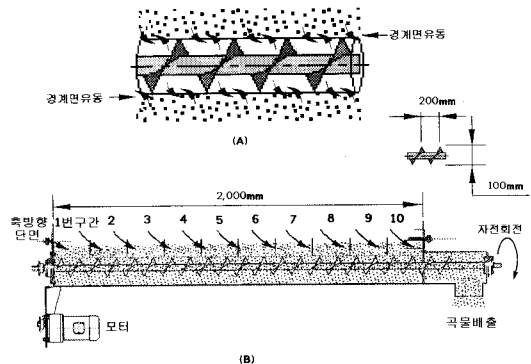
[그림 6] 실험장치

[그림 7]은 STSA의 경계면 거동 분석실험 전경을 보여주고 있다. 여러 가지 데이터를 각각의 위치에서 측정과 사진촬영을 통하여 동시에 수집하고 있다.



[그림 7] 실험 전경

### 3.3 실험의 목적과 필요성



[그림 8] 경계면 곡물의 유출입 거동 현상

본 실험의 목적은 [그림 8]의 (A)와 같이 곡물 속에서 회전하는 STSA의 경계면(Boundary Surface)에서 유동하는 곡물의 거동 즉 중간유입이 일어나는지를 알아보는 것이다.

STSA가 곡물 속에서 회전하면서 곡물을 이송시킬 때 곡물이 어떻게 SA의 Blade 속으로 유입되고 이송되는지를 알아보는 것은 매우 중요하다. 그 이유는 일체형 건조/저장 시스템이 채용하고 있는 SA는 단순히 곡물의 위치만 이동시키는 것이 아니라 선입선출 기능도 함께 가지고 있어야 하기 때문이다. 선입선출이 되려면 SA가 자전할 때 [그림 8]의 (B)와 같이 전체 구간에 걸쳐서 각기 다른 크기로 유입량을 적절히 배분하여 배출할 수 있어야 하는데 본 거동분석실험을 통하여 이를 확인할 수 있게 된다. 그리고 본 실험의 결과분석을 통하여 STSA가 일체형 건조/저장 시스템에 적합한지를 판별할 수 있게 해줄 뿐만 아니라 바람직한 SA의 설계 방안을 제시할 수 있다.

### 3.4 실험계획의 절차

여기에서는 특성치 선정, 실험방법설계, 실험을 통하여 얻은 데이터정리에 대하여 소개한다.

#### 3.4.1 특성치의 선정과 실험의 배치

본 실험에서의 어려운 점은 투명하지 않은 곡물 속에서 일어나는 현상을 조사해야 한다는 것이다. 본 연구에서는 조사대상을 직접 '관찰'하거나 '측정(Measurement)'하는 것은 현실적으로 불가능하다고 판단하였기 때문에 '중첩의 원리'에 착안하여 '관측(Observation)'을 통하여 간접적인 방법으로 조사하기로 하였다[6]. 이와 같은 결정에 따라 본 실험의 주요 인자를 SA의 형태로 하고 인자의 효과를 SA의 배출에 의한 곡물의 감소량으로 하였다. 본 실험 장치는 주요인자의 효과를 구간별로 나누어 측정할 수 있도록 [그림 8]의 (B)와 같이 200mm 간격으로 10개의 독립된 구간으로 나누었다. 실험에서 사용된 STSA는 D사가 일체형 건조/저장 시스템에 직접 채용했던 것으로 실험에서 그대로 사용하고 있기 때문에 실제 상황을 조사하는데 유리하다.

[표 1] 요인과 실험조건

Factors	Specification	Value[mm]	
Type of SSC (STSSC)	Pitch	100	
	Lead(L)	100	
	Diameter of STSSC	D	Φ100
		d	Φ32
	Total Length(l)	2000	
Rotation[rpm]		80	
		110	
		140	

본 실험의 인자는 자전회전수와 SA의 형태로 두 가지가 선택되었다. 자전 회전수는 표시인자로서 3개의 수준으로 이루어져 있다.

주요인자인 SA는 위에서 언급한 바와 같이 STSA로서 1개로 고정되어 있다. 실험은 이들을 각 수준에 따라 배치하고 실험방법의 설계에 따라 실시하였다[7]. 요인과 실험조건을 [표 1]에 정리하여 제시하였다.

#### 3.4.2 실험 방법의 설계와 데이터 수집

실험의 순서와 방법은 다음과 같다. 먼저 탱크에 곡물을 채우고 곡물의 수평을 잡는다. 실험의 수준에 맞추어 실험대를 셋팅 한다. 10초간 작동하여 과도상태 특성을 검사를 한 후 5초 간격으로 작동하고(Auto-timer 활용) 각 구간의 곡물의 높이를 줄자를 이용하여 측정한다. 곡물의 높이가 SA의 상층부가 드러날 때까지 반복하여 시행한다. SA로 유입되는 현상을 알아보기 위하여 동영상 촬영을 실시한다. 이와 같은 실험을 3개의 자전회전수 인자의 수준별로 각 2회씩 총 6회 반복하여 실시하였다. 실험의 순서는 무작위로 선택하였다. 실험의 결과는 모든 수준에서 동일한 결과를 보였다. 지면의 제약으로 [표 2]에서는 110rpm에서 실시한 3구간의 데이터를 10초 단위로 제시하였다.

[표 2] 시간별 각 구간의 곡물의 높이

1구간		2구간		3구간	
time(sec)	곡물높이(mm)	time(sec)	곡물높이(mm)	time(sec)	곡물높이(mm)
0	1250	105	1250	210	1250
10	1132	110	1130	220	1133
20	1010	120	1012	230	1009
30	900	130	901	240	902
40	780	140	781	250	782
50	660	150	662	260	665
60	530	160	533	270	537
70	405	170	402	280	406
80	285	180	287	290	283
90	160	190	163	300	161
100	42	200	39	310	45

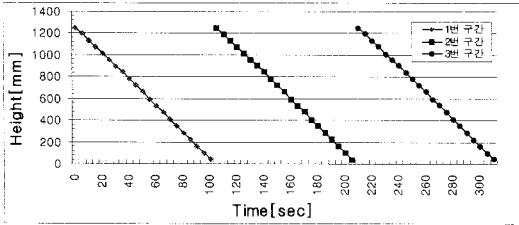
## 4. 실험 결과분석

본 장에서는 실험을 통하여 얻은 데이터를 다양한 측면에서 분석하고 결론을 도출한다.

### 4.1 데이터의 분석과 검증[8]

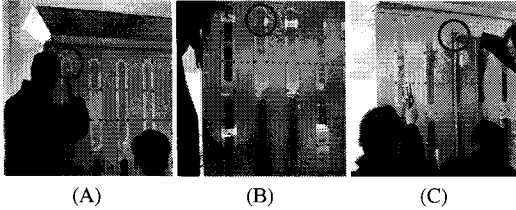
[그림 9]는 [표 2]의 데이터를 이용하여 도시한 것이다.

[그림 9]에서는 SA를 구동하면 첫 번째 구간에서부터 배출이 시작되는 것을 알 수 있다. 그리고 첫 번째 구간의 배출이 완료된 후에 다음 구간의 배출이 시작된다. 모든 실험에서 첫 구간에서 배출이 시작되고 앞 구간의 배출이 완료되어야 다음 구간의 배출이 시작되는 현상이 반복해서 일어나는 것을 확인하였다.



[그림 9] 구간별 곡물의 높이 감소추세

[그림 10]의 (A), (B), (C)는 각 각 13구간이다. ○으로 표시된 각 구간의 창에서 배출이 시작되는 것과 직전 창이 비어 있는 것을 볼 수 있다.



[그림 10] 구간별 높이 변화량 측정

각 구간에서의 평균 감소량을 [표 3]에서 보여주고 있다. 평균 감소량은 유의 수준 5% 범위 내에서 차이가 없다는 분석결과를 얻었다.

[표 3] 시간별 평균 감소량

시간[sec]	1구간	2구간	3구간
000-100	120.8[mm]	0	0
105-200	-	121.1[mm]	0
210-310	-	-	120.5[mm]

이 분석의 결과도 한 구간의 배출이 있는 동안에는 다른 구간의 배출이 일어나지 않고 있다는 것이 판명되었다. 이것은 각 구간의 배출은 앞 구간에 의하여 완전히 종속되어 있다는 것을 의미 하는 것으로 중간 유입을 일으키지 않는다는 증거라고 할 수 있다.

#### 4.2 곡물의 유입과 배출 현상 분석

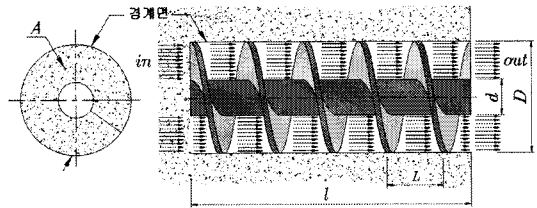
SA에 의하여 배출되는 체적 유동량은 식(1)에 의하여 결정된다. 단,  $N$ :회전수(rpm),  $v$ : 이송속도(m/sec)이다. [표 4]는 본 실험장치의 회전별 초당 배출량( $m^3/sec$ )  $Q$ 를 보여주고 있다.

$$Q = vA_{SA} = \frac{\pi NL}{240}(D^2 - d^2) \quad (1)$$

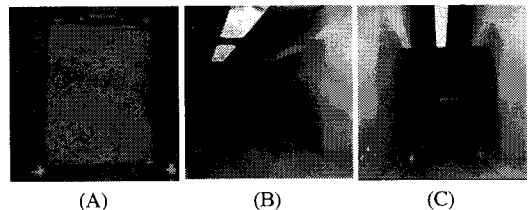
[표 4] 각 회전에 대한 배출량

회전수(rpm)	80	110	140
$Q(m^3/sec)$	0.00093996	0.00129246	0.00164494

곡물의 유입과 배출은 [그림 11]의 단면 A를 통하여 SA로 유입되고 회전력에 의하여 강제로 이송이 이루어지면서 배출된다. 본 연구의 주된 관심사는 [그림 11]에서 보는 바와 같이 SA의 Blade가 바깥쪽으로 열려 있기 때문에 중간 유입이 일어날 수 있다는 예상을 하였으나 본 실험을 통하여 유입단면이 주어지지 않으면 불가능하다는 것을 확인하였다. 따라서 유입단면을 전 구간에 걸쳐서 분산할 수 있는 가변단면에 관한 연구가 필요하다.

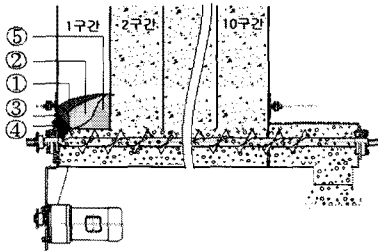


[그림 11] 곡물유입단면적과 이송



[그림 12] 유입현상

이와 같은 현상을 [그림 12]와 [그림 13]을 이용하여 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.



[그림 13] 배출현상

[그림 12]의 (A), (B), (C)는 [그림 13]의 ①, ②와⑤, ③과④의 순으로 대응해서 볼 수 있다. SA가 곡물을 배출할 때 일단 입력단면이 주어진 [그림 13]의 ④번으로 유입된다. 다음은 바로위에 있는 ③이 흘러내린다. 이어서 ①과 ②의 일부가 ③의 위치로 옮기고 ⑤가 최종 배출되면 다음 구간으로 넘어간다. 이런 점에서 곡물은 유체의 유출과는 다른 점을 보이고 있다[9].

### 4.3 곡물의 이론압력을 이용한 분석

곡물 건조/저장 시스템인 빈의 단면은 원형이 많이 사용되지만 다각형도 사용된다. 구조물의 재료는 철재와 철근 콘크리트 또는 파형 강판이 주로 사용된다. 곡물은 입자간의 점착력을 무시할 수 있는 비점착성 입자로 반유체(semifluid)로 취급된다. 여기에서는 곡물의 높이에 따른 하중변화가 배출에 어떤 영향을 주는지 분석하고자 한다. 본 연구에서 사용하고 있는 실험장치는 육면체이기 때문에 Rankin이나 Janssen의 이론모형보다는 Reimbert의 이론모형을 이용하여 분석하기로 한다. 그 이유는 Reimbert의 것이 다각형 빈의 구조에 더 적합하다고 판단되기 때문이다[10,11,12].

Reimbert의 이론식에서는 다각형의 빈 외에도 상층의 원추부를 고려할 수 있다는 것이 특징이다. 그러나 본 실험에서는 이를 고려할 필요가 없다. [표 5]는 분석에 사용된 요소들의 설정 값이다. 이 값들은 (주)D사의 사내 연구소에서 제공한 현장 데이터이다.

[표 5] 시스템 분석을 위한 특성치

실험장치 단면적	가로(a)	2 m
	세로(b)	0.34m
내부마찰각(β)	φ	30°
빈의 마찰계수	μ	0.3
중력가속도	g	9.81m/sec <sup>2</sup>
밀도	ρ	610kg/m <sup>3</sup>

먼저 곡물과 벽면 사이에 마찰이 없다고 가정할 경우에 곡물의 깊이 y에서의 수직 하중 Q<sub>y</sub>는 식(2)와 같이 정의 할 수 있다.

$$Q_y = \rho g A y \tag{2}$$

또 마찰에 의하여 벽면에 작용하는 수직하중을 F<sub>(y)</sub>라고 하면 곡물의 미소두께 Δy에 작용하는 미소 수직하중 ΔF<sub>(y)</sub>는 식(3)과 같이 정의된다. 단 C(m)는 빈의 둘레, μ는 벽재와 곡물간의 마찰계수, P<sub>h</sub>(Pa)는 수평압력이다.

$$\Delta F_{(y)} = P_h C \mu \Delta y \tag{3}$$

이를 P<sub>h</sub> 대하여 정리하면 식(4)와 같다.

$$P_h = \frac{1}{C\mu} \frac{\Delta F}{\Delta y} = \frac{1}{C\mu} F'(y) \tag{4}$$

여기에서 수평압력의 변화량은 깊이의 변화량에 따라 변화하기 때문에 F'(y) = dF/dy로 나타 낼 수 있다. 그리고 수평압력 F(y)는 식(5)와 같이 실험값[10]으로 제시된다.

$$F(y) = \frac{\rho g A y^2}{y + A_1} \tag{5}$$

따라서 임의의 깊이 y에 작용하는 수직압력 P<sub>v</sub>는 순수한 곡물의 무게에서 벽면의 마찰에 의하여 작용하는 하중을 빼면 구할 수 있기 때문에 식(6)과 같이 정의할 수 있다. 단, ρ:곡물의 밀도, A: 작용면적, g:중력가속도, y는 해당압력이 작용하는 곡물의 깊이이다.

$$P_v = \rho g y - \frac{F(y)}{A} \tag{6}$$

식(6)에 식(5)를 대입하여 식(7)을 유도할 수 있다.

$$P_v = \frac{\rho g A_1 y}{(y + A_1)} \tag{7}$$

또 식(7)의 A<sub>1</sub>과 Q<sub>max</sub>, P<sub>max</sub>의 값들은 식(8)~식(10)에 의하여 구할 수 있는데 본 분석에서는 [표 5]를 이용하여 각각 그 값들을 구하였다.

$$A_1 = \frac{Q_{max}}{\rho g A} = 1.453137 \tag{8}$$

$$Q_{\max} = \frac{AP_{\max}}{k} = \frac{\rho g A^2}{C_{\mu} \tan(45 - \phi/2)} \quad (9)$$

$$= 5913.087 [N]$$

$$P_{\max} = \frac{\rho g A}{C_{\mu}} \quad (10)$$

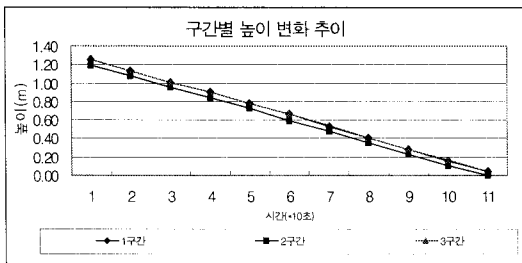
$$= 2898.282 [Pa]$$

지금까지 유도한 식을 이용하여 [표 2]의 이론 압력을 구하면 [표 6]과 같다. 여기에서도 지면의 제약으로 10초 단위로만 제시하였다.

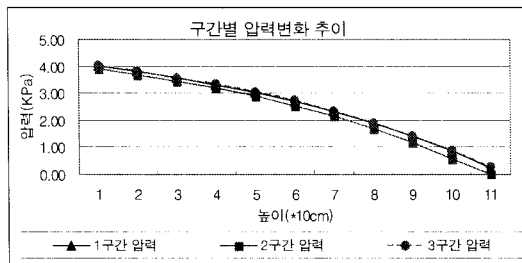
[표 6] 구간별 높이의 변화량과 SA에 작용하는 압력

1구간				2구간				3구간			
시간 (sec)	높이 (m)	변화량 (m)	수직 압력 (KPa)	시간 (sec)	높이 (m)	변화량 (m)	수직 압력 (KPa)	시간 (sec)	높이 (m)	변화량 (m)	수직 압력 (KPa)
0	1.25	-	4021.12	110	1.19	0.058	3918.62	210	1.25	-	4021.12
10	1.13	0.062	3807.75	120	1.08	0.055	3697.54	220	1.13	0.062	3809.64
20	1.01	0.063	3565.65	130	0.96	0.055	3452.83	230	1.01	0.068	3563.56
30	0.90	0.055	3325.84	140	0.85	0.056	3197.32	240	0.90	0.051	3330.40
40	0.78	0.063	3037.28	150	0.72	0.058	2889.07	250	0.78	0.060	3042.34
50	0.66	0.060	2715.95	160	0.59	0.068	2523.16	260	0.67	0.056	2730.07
60	0.53	0.063	2323.96	170	0.48	0.055	2152.39	270	0.54	0.055	2346.37
70	0.41	0.068	1895.32	180	0.35	0.052	1687.89	280	0.41	0.069	1898.98
80	0.29	0.063	1425.83	190	0.23	0.059	1179.33	290	0.28	0.069	1417.45
90	0.16	0.065	862.49	200	0.11	0.058	585.99	300	0.16	0.061	867.34
100	0.04	0.060	244.27	-	0.00	0.039	0.00	310	0.05	0.053	261.20

[표 6]에서 압력의 변화와 감소되는 높이의 변화량 간에는 상관관계가 없는 것으로 판단되었으나 엄밀한 분석을 위하여 더 많은 실험과 분석이 필요한 것으로 판단된다.



[그림 14] 시간별 높이 변화 추이



[그림 15] 높이 변화에 따른 압력변화

[그림 14]에서는 [그림 9]에서와 같이 감소속도가 3구간 모두 일정한 것을 알 수 있다. 시간별 높이 변화 추이 즉 감소속도의 차이를 비교 분석한 분산분석 결과는 유의 수준 5%범위 내에서 각 구간별 차이가 없는 것으로 검증되었다. [그림 15]에서는 유체와는 다르게 곡물의 높이와 1차 함수의 선형관계가 아니라 수평하중의 작용의 받아서 2차함수의 관계로 나타나고 있는 것을 볼 수 있다. 높이 변화에 따른 압력의 변화의 분산 분석결과에서도 유의 수준 5%범위 내에서 일치하는 것으로 검증되었다. 그러나 본 실험에서는 압력과 높이 변화량간의 상관관계를 검증하기 위해서는 더 많은 데이터를 필요로 하기 때문에 본 실험의 결과로는 한계가 있는 것으로 판단되어 후속 연구에서 밝히기로 하였다. 여기에서 STSA의 배출특성분석을 마친다.

## 5. 결론

바이오 에너지 개발의 촉발로 곡물이 보다 더 중요한 자원으로 인식되고 있는 지금 그 저장의 중요성은 아무리 강조해도 지나침이 없다 하겠다. 일체형 곡물 건조/저장 시스템은 이러한 시대적 요구에 부응하여 개발되었기 때문에 그 성공여부는 매우 중요한 의미를 갖는다. 일체형 곡물/건조 저장 시스템의 성공여부는 선입선출을 만들어 낼 수 있는 SA의 성능에 달려 있다고 해도 과언이 아니라고 할 만큼 SA는 중요한 역할을 하는 구성요소이다. 지금까지 (주)D사가 개발한 일체형 곡물 건조/저장 시스템의 SA는 STSA를 채용하고 있었다. 그러나 그 성능에 문제가 있는 것으로 판단되어 이를 규명하고 문제 해결을 위한 방향을 제시하고자 본 연구가 추진되었다.

현장에서는 STSA의 이송특성의 문제인지 그 외의 다른 기술상의 문제인지를 확인할 수 없었기 때문에 본 연구가 실험을 통하여 그 원인을 규명하고 STSA가 일체형 곡물 건조/저장 시스템에 적합한지 여부를 판별하는데 목적을 두고 있다.

본 연구는 이를 위하여 특별히 설계 제작된 실험 장치를 이용하였다. 실험 장치는 중첩의 원리에 착안하여 특성치의 효과를 열 개의 구간으로 나누어 측정할 수 있도록 함으로써 구간별 효과의 차이를 분석함으로써 이송특성을 검증할 수 있도록 하였다. 본 연구에서 채택된 요인은 SA의 형상과 회전수이다. 형상 요인의 수준은 STSA로 고정하고 회전수는 3개의 수준으로 하여 수준별로 대응하여 실험을 배치하고 실험을 통하여 필요한 데이터를 얻었다.

본 연구는 SAST가 선입선출 기능을 확인하기 위하여 경계면 거동 분석을 위한 실험을 실시하고 실험에서 얻

은 데이터를 다양한 측면에서 분석하고 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

- (1) STSA는 축 직각 방향의 입력단면이 한쪽에 집중되어 있기 때문에 중간유입을 일으킬 수 없다는 결론을 얻었다.
- (2) 선입선출이 가능하도록 하기 위해서는 각 지점에서 적절한 배출량을 제어할 수 있어야 하는데 STSA는 중간 유입이 허용되지 않기 때문에 일체형 곡물 건조/저장 시스템에 채용하는 것은 부적합하다는 결론을 얻었다.
- (3) 일체형 곡물 건조/저장 시스템의 성공적인 개발을 위해서는 선입선출이 가능한 즉 중간유입을 할 수도록 설계되어야 할 것으로 판단된다. 따라서 단면분산 SA를 제안한다.
- (4) 곡물의 이론압력을 이용한 분석을 통하여 곡물의 압력은 유체와는 다르게 곡물의 높이와 1차 함수의 선형관계가 아니라 수평하중의 작용의 반아서 2차함수의 관계로 나타나고 있는 것을 볼 수 있었다. 그리고 압력의 변화와 배출량변화의 상관관계에 대한 연구의 필요성을 제안한다.

본 연구에 대한 보고를 여기에서 마치고자 한다. 아울러 지금까지 본 연구에서 제시한 결론을 토대로 일체형 곡물 건조/저장 시스템에 적합한 단면 분산 SA를 개발하는 것을 다음의 연구과제로 삼고자 한다.

### 참고문헌

- [1] 방진기(Jinki Bang) 외 3인, “국내외 바이오 에너지 원료 작물 개발 및 연구 동향”, The Korean Society of International Agriculture, 20(1), pp.24-29, March, 2008.
- [2] 정중훈(J.H. Chung), “곡물보관창고의 산물 시설화를 위한 곡물저장 시설의 개발(사각사일로 시스템)”, 한국농업학회지, 제20권 제2호, pp.151-161, 1995.
- [3] Donald R. Coughanowr, “Process Systems Analysis and Control”, McGRAW-HILL, pp.249-281, 2002.
- [4] 박상만, “최신 공정계측제어”, 도서출판기전연구소, pp.143-153, 8월, 2003.
- [5] Myung-Hyun Song, “Sliding Mode Controller Design for Process with Time Delay”, Journal of Industrial Technology Institute, vol.12, pp.123-133, 1994.
- [6] 이동희(Dong-Hee Lee), “중첩의 원리를 이용한 센서리스 PMSM 속도제어”, 한국공작기계학회, vol.2002, pp.199-205, 5월, 2002.
- [7] 노형진, “통계적품질관리”, 한울출판사, pp.615-620, 6월 2008.

- [8] 박성현, “현대실험계획법”, 대영출판사, pp.115-140, 3월, 2002.
- [9] 박재복(Park, JaeBok) 외 1인, “곡물의 유동현상에 관한 연구” Seoul Nat'l Univ., Coll. of Agric. Rese. vol.9, No.1, pp.1-10, March, 2005.
- [10] 금동혁, “수확 후 공정 공학”, 도서출판 씨아이알, pp.90-94, 8월, 2008.
- [11] 김현수(Hyoun-Soo Kim) 외 2인, “입상체의 압축이론식에 관한 연구”, Journal of the Korean Institute of Chemical Engineers, vol.30, No.1, pp.70-79, February, 1992.
- [12] 강석호(Suk-Ho Kang), “미분말의 물리적 성질이 저장압에 미치는 영향”, Journal of the Korean Institute of Chemical Engineers, vol.18, No.3, pp.171-178, Jun, 1980.

최 갑 용(Kab-Yong Choi)

[정회원]



- 1989년 2월 : 숭실대학교 중소기업대학원 생산관리과 졸업(공학석사)
- 1996년 8월 : 숭실대학교 대학원 산업공학과 졸업(공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 아주자동차대학 자동차계열 교수(자동차개발전공, 금형전공)

<관심분야>

시스템 설계/제어, CAD/CAM/CAE