

일체형 곡물 건조/저장 시스템 개발을 위한 나선형 배출기구의 가변 단면 형상 설계에 관한 연구

최갑용^{1*}, 오태일¹, 신성호¹
¹아주자동차대학 자동차계열

A Study on the Profile Design of Sweeping Auger for the Combined Grain Drying and Storage System

Kab-Yong Choi^{1*}, Tae-II Oh¹ and Sung-Ho Shin¹

¹Division of Automobile, Ajou Motor College

요약 본 연구는 저비용 고효율의 일체형 곡물 건조/저장 시스템 개발을 위하여 추진되었다. 저장시스템의 용량과 규격, 배출기구의 설치 조건 및 공전, 자전 등의 운전 조건 그리고 대상 곡물의 비중 등의 다양한 조건에서 정해진 배출속도를 충족시키며 곡물의 선입-선출이 보장되는 균일하강 배출기구를 설계하고자 하였다. 곡물 배출 과정에 대한 육안 관찰이 가능한 장치를 제작하여 기존의 균일 단면형 배출기구에서의 곡물의 배출 거동을 관찰하여 기존 기구의 제한점을 검토하였다. 수학적 해석을 통해 주어진 배출 속도를 비롯한 다양한 조건과 곡물의 균일 하강의 조건을 만족시키는 가변 단면형 배출기구의 단면형상을 설계할 수 있는 일반화된 공식을 유도하였으며, 이를 적용하여 제작된 시제품의 운전을 통해 계산값과의 비교 검증의 연구 과정을 수행하였다. 이를 통해 주어진 다양한 조건을 만족하는 나선형의 가변 단면형 균일하강 배출기구의 단면 형상 설계를 위한 일반화된 수학적 모델을 개발하였다.

Abstract This study have been carried out as a part of R&D project to develop a low cost high efficiency combined grain drying & storage system. The design of sweeping auger must meet the various conditions : capacity and dimensions of silo, discharging capacity of auger, operation conditions of auger such as revolution and rotation and density of grains and even the first-in & first-out of grains in the system. Through the experimental observations with the apparatus which enables the direct observation of discharging behavior of grains, the limitations of the performance of existing straight type auger was observed. Generalized mathematical model for the profile of new variable section sweeping auger was obtained, which ensures the uniform descending of grains and also meets various operating conditions. The experimental results with a prototype sweeping auger showed that the mathematical model for the variable section sweeping auger was quite correct.

Key Words : Combined Grain Drying and Storage System(CGSS), Sweeping Auger, Variable Section Sweeping Auger(VSSA)

1. 서론

화석에너지의 고갈로 금세기의 곡물은 식량의 차원을 넘어서 에너지의 원천으로도 인식됨에 따라 세계는 그의 확보와 저장에 경쟁적인 관심을 기울이고 있다. 곡물은

1.1 연구 개요와 배경

본 논문은 2008년도 (주)두손과 산학협동연구과제로 수행되었음.

*교신저자 : 최갑용(kychoi@motor.ac.kr)

접수일 09년 05월 01일

수정일 (1차 09년 06월 05일, 2차 09년 06월 12일)

게재확정일 09년 07월 22일

원유와 달리 고비용 구조의 건조/저장 시스템이 필요하기 때문에 이를 개선하기 위한 연구가 각 분야에서 활발히 진행되고 있다[2]. 이와 같은 취지에서 (주)두순이 신 개념의 일체형 곡물 건조/저장 시스템(이하 일체형시스템이라 칭한다.)을 개발하였다. 기존의 시스템은 건조와 저장기능이 분리된 이중구조로 되어 있는 것이 보통이지만 본 개발품은 두 개의 기능을 하나로 통합하여 제작비용과 건조에너지비용을 절감할 수 있도록 함으로써 경제성을 제고하였을 뿐만 아니라 저장기능의 개선을 통하여 품질개선에도 기여 할 수 있도록 하였다는 것이 특징이다.

나선형배출기구(Sweeping Auger, 이하 SA라 칭한다.)는 자전과 공전을 통하여 시스템으로 유입된 곡물의 선입선출이 이루어지도록 하는 기구이다. SA는 일체형시스템의 핵심요소로서 본 연구진에 의하여 개선을 위한 많은 연구가 추진되었다. 본 연구에 앞서 실시된 선행연구를 통하여 초기의 일체형시스템에 채용하였던 Straight Type Sweeping Auger(이하 STSA라 칭한다.)의 기술적인 문제점들을 규명하였을 뿐만 아니라 선입선출이 이루어지도록 하기 위해서는 가변단면 SA(Variable Section Sweeping Auger, 이하 VSSA라 칭한다.)를 사용하여야 한다는 것을 밝혀내고 이에 대한 연구의 필요성을 제기하였고 이에 따라 본 연구를 추진하게 되었다[1].

1.2 연구 목적

SA의 공전에 의하여 발생하는 처리해야할 곡물의 체적은 균일하지 않기 때문에 이로 인한 내/외측에 발생하는 유동량의 불균형을 자전에 의하여 보정함으로써 선입선출이 일어날 수 있도록 하는 것이 일체형 시스템의 핵심기술이다.

본 연구의 목적은 빈 내의 곡물이 선입선출 될 수 있도록 VSSA의 프로파일 커브를 구하는 수식모형을 개발하는데 있다. 빈의 형상이나 크기에 따라 프로파일 커브를 다르게 설계하여야하므로 이를 위한 이론적인 체계를 수립하고 다양한 현장조건에 맞추어 적용할 수 있도록 수식모형을 일반화한 후 프로파일 커브를 갖는 VSSA를 제작하여 성능을 평가함으로써 현장적용 타당성 검증도 함께 실시한다.

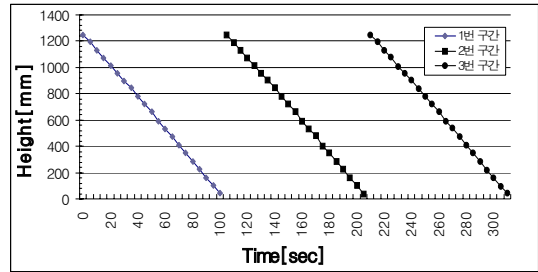
2. STSA의 이송특성분석에 관한 소고

본 장에서는 VSSA의 연구에 앞서 선행연구를 소고함으로써 본 연구의 필요성에 대한 문제의 제기를 통하여

논리적인 체계를 수립코자 한다.

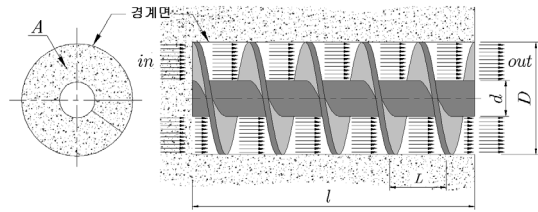
2.1 단면분산을 위한 제안과 문제의 제기[1]

그림 1은 선행연구에서 얻은 STSA의 이송특성 분석에 대한 결과이다.



[그림 1] 구간별 곡물의 높이 감소추세

그림 1에서 구간별 배출현상을 분석해 보면 앞 구간의 배출이 완료되어야 다음 구간의 배출이 시작되는 반복적인 현상을 볼 수 있는데 이는 STSA에서는 중간 유입을 허용하지 않는다는 것을 의미한다. 이 현상은 SA에 의하여 이송되는 곡물의 체적 유동량을 나타내는 식(1)과 그림 2를 이용해서도 해석이 가능하다.



[그림 2] 곡물유입단면적과 이송

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

여기에서, N :회전수(rpm), v :이송속도(m/sec), A :SA의 단면적(m^2), L :SA의 Lead(m), D :SA의 바깥지름(m), d :SA의 안지름(m), Q :단위시간당 배출량(m^3/sec)이다.

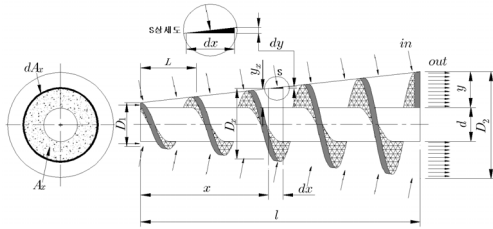
곡물 이송은 그림 2의 단면 A를 통해서만 이루어진다. SA의 Blade가 바깥쪽으로 열려 있기 때문에 중간 유입이 일어날 수도 있다는 생각을 할 수 있지만 1차 연구에서 축방향의 유입단면이 주어지지 않으면 허용되지 않는다는 것이 확인되었다. 따라서 중간유입을 위해서는 반드시 ‘축방향의 유입단면’이 주어져야 하므로 이에 대한 연구가 필요하다.

3. 입력 단면 분산과 Profile Curve에 관한 고찰[7]

본 장에서는 유입단면 분산을 위한 VSSA의 Profile Curve에 대한 이론적 체계를 수립하는 과정을 보인다.

3.1 VSSA가 임의의 지점 x 에서 감당해야 하는 배출능력(q_x)에 대한 고찰

그림 3에서 보는 VSSA는 STSA와는 달리 SA의 한쪽 끝에만 단면이 집중해 있지 않고 전체 구간에 걸쳐서 dy 에 의하여 만들어지는 dA_x 만큼의 크기로 분산되어 있음을 보여준다.



[그림 3] VSSA의 유입단면과 입출력

그림 3에서 D_1 이 존재하고 $D_1 > d$, $D_2 > D_1$ 인 VSSA를 가정할 때 임의의 지점 x 에서의 변화량 dq_x 는 식(2)와 같이 유도할 수 있다[3].

$$dq_x = vdA_x \quad (2)$$

$$= \frac{\pi NL}{240} [2(\frac{1}{l})^2 (D_2 - D_1)^2 x dx + 2(\frac{1}{l})(D_2 - D_1)D_1 dx + D_1^2 - d^2]$$

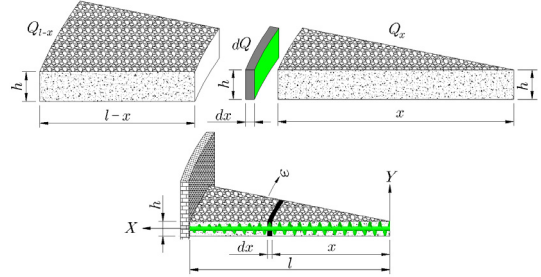
식(2)를 이용하여 임의의 지점 x 에서의 배출능력이라고 할 수 있는 체적유동량 q_{cx} 또는 질량유동량 q_{mx} 는 식(3), 식(4)와 같이 유도할 수 있다. 단, N 은 회전수이고 ρ 는 곡물의 밀도이다.

$$q_{cx} = \int_0^x vdA_x = \frac{\pi NL}{240} [(\frac{1}{l})^2 (D_2 - D_1)^2 x^2 + 2(\frac{1}{l})(D_2 - D_1)D_1 x + D_1^2 - d^2] \quad (3)$$

$$\simeq \frac{\pi NL}{240} (D_x^2 - d^2)$$

$$q_{mx} = \rho V_{cx} = \rho A_x v = \frac{\rho \pi NL}{240} (D_x^2 - d^2) \quad (4)$$

3.2 VSSA가 각속도 ω 로 공전할 때 임의의 지점 x 를 통과하는 누적 유동량($Q_{(l-x)}$)



[그림 4] Q_l , $Q_{(l-x)}$, Q_x , dQ_x 와의 관계

SA의 공전 각속도 ω (rad/sec)와 자전 회전수 N (rpm)이 일정할 때 단위시간 동안에 처리해야 할 곡물의 총량 Q_l 의 크기와 모양은 그림 4과 같다. VSSA의 자전과 공전에 의하여 높이 h 인 부채꼴 모양의 체적을 수행하길 시키려면 임의의 지점 x 를 통과 하는 곡물의 누적처리량 $Q_{(l-x)}$ 를 SA의 배출능력인 q_{mx} 가 감당할 수 있는 범위에서 설계되어야 한다. $Q_{(l-x)}$ 를 구하기 위한 임의의 지점 x 에서의 미소 처리량 dQ_x 는 식(5)와 같이 유도할 수 있다.

$$dQ_x = \rho(x\omega dx)h = \rho\omega h x dx \quad (5)$$

그리고 x 지점까지의 누적 처리량 Q_x 를 구하는 식은 식(5)를 이용하여 식(6)과 같이 유도되고

$$Q_x = \int dQ_x = \rho\omega h \int x dx = \frac{1}{2}\rho\omega h x^2 \quad (6)$$

총 처리량 Q 는 식(7)을 이용하여 구한다.

$$Q_l = \int_0^l dQ_x = \frac{1}{2}\rho\omega h l^2 \quad (7)$$

지금까지 유도한 식들은 SA의 길이 l 만을 고려하여 총 처리량을 계산하였다. 그러나 실제 처리해야 할 양은 빈의 반경 R 에 의하여 결정되므로 R 을 고려한 총 처리량을 구하는 식은 식(8)과 같이 유도할 수 있다.

$$Q_{l \rightarrow R} = \frac{1}{2}\rho\omega h R^2 \quad (8)$$

식(6), 식(7), 식(8)을 식(9)와 같이 정리하고

$$Q_l = Q_x + Q_{(l-x)} \quad (9)$$

식(9)로부터 식(10)과 같이 $Q_{(l-x)}$ 를 구한다.

$$Q_{(l-x)} = Q - Q_x = \frac{1}{2} \rho \omega h (R^2 - x^2) \quad (10)$$

$Q_{(l-x)}$ 는 VSSA의 임의의 지점 x 를 통과하는 곡물의 누적처리량이 된다.

3.3 Profile Curve설계를 위한 Blade의 높이 y_x 에 대한 고찰[4]

임의의 지점 x 에서의 누적 처리량 $Q_{(l-x)}$ 을 감당할 수 있는 VSSA의 직경 D_x 를 구하기 위해서 먼저 식(4)와 식(10)을 이용하여 식(11)을 유도하고

$$\rho A_x v = \frac{\rho \pi N L}{240} (D_x^2 - d^2) = \frac{1}{2} \rho \omega h (R^2 - x^2) \quad (11)$$

식(11)을 이용하여 식(12)와 같이 유도한다.

$$D_x = \sqrt{\frac{120 \omega h}{\pi N L} (R^2 - x^2) + d^2} \quad (12)$$

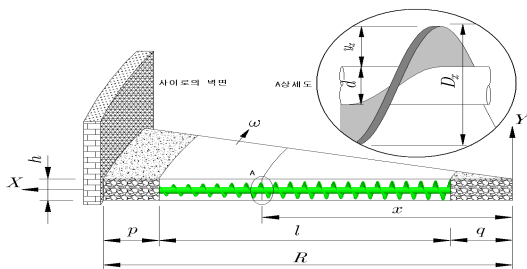
그림 5의 상세도에서 보는 임의의 지점 x 에서의 Blade의 높이 y_x 를 구하는 식은 식(13)과 같이 정리할 수 있으므로

$$y_x = \frac{1}{2} (D_x - d) \quad (13)$$

식(13)의 인자들을 식(12)를 이용하여 정리하면 식(14)과 같이 유도할 수 있다.

$$y_x = \frac{1}{2} \left[\sqrt{\frac{240}{\pi N L} \cdot \frac{1}{2} \omega h R^2} - d \right] \quad (14)$$

지금까지 VSSA가 임의의 지점 x 에서 처리해야 하는 곡물의 양과 이를 수용할 수 있는 Blade의 높이 y_x 를 구하는 과정을 보였다. y_x 를 VSSA 전 구간에 걸쳐서 일정한 간격으로 구하고 끝을 연결하면 고차원의 커브를 얻게 되는데 이를 본 연구에서는 프로파일 커브(Profile Curve)라 부르기로 한다. 이 커브는 VSSA를 제작하기 위한 전개도를 그릴 때 이용된다.



[그림 5] l, R, p, q, x 와의 관계

4. 현장 조건을 고려한 수식모형의 일반화[8]

본 장에서는 그림 5에서 보는 바와 같이 SA의 바깥쪽과 안쪽에 p 나 q 와 같은 여지(margin)가 존재하기 때문에 이 3가지 경우를 고려하여 설계에 적용할 수 있는 수식모형으로 일반화 시키는 과정을 소개한다.

4.1 $l = R, p = 0, q = 0$ 인 경우

빈의 반경 R 이 SA의 길이 l 과 같을 때이므로 프로파일 커브를 구하는 식은 다음과 같다.

$$y_x = \frac{1}{2} \left[\sqrt{\frac{240}{\pi N L} \cdot \frac{1}{2} \omega h l^2} - d \right] \quad (15)$$

4.2 $l \neq R, p > 0, q = 0$ 인 경우

빈의 반경 R 이 SA보다 빈의 벽 쪽으로 p 만큼 더 큰 여지를 가질 때이므로 프로파일 커브를 구하는 식은 다음과 같다.

$$y_x = \frac{1}{2} \left[\sqrt{\frac{240}{\pi N L} \cdot \frac{1}{2} \omega h (l+p)^2} - d \right] \quad (16)$$

4.3 $l \neq R, p > 0, q > 0$ 인 경우

빈의 반경 R 이 SA보다 빈의 벽 쪽으로 p 만큼, 중심 쪽으로 q 만큼 더 큰 간격을 가질 때이므로 프로파일 커브를 구하는 식은 다음과 같다.

$$y_x = \frac{1}{2} \left[\sqrt{\frac{240}{\pi N L} \cdot \frac{1}{2} \omega h (l+p+q)^2} - d \right] \quad (17)$$

5. VSSA의 성능실험과 데이터 수집

본 장에서는 프로파일 커브를 적용한 VSSA를 이용하여 실험을 실시하고 실험데이터를 수집하는 과정을 소개한다.

5.1 VSSA의 컨트롤 커브와 제작

VSSC 설계를 위한 조건은 표 1과 같다. 이 조건은 (주)두손의 사내연구소가 제공하였다.

[표 1] 설계조건

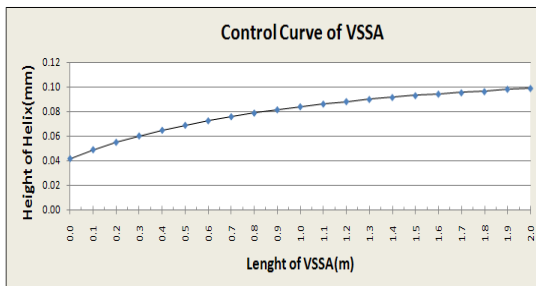
Specification of Design	Notation[unit]	Value
Units of Mass per Time	$W[kg/hr]$	1000
Total Length(l)	$l[m]$	2
Density of Grain	$\rho[kg/m^3]$	610
Revolution of VSSA	$\omega[rad/hr]$	1
Rotation of VSSA	$N[rpm]$	110
Diameter of VSSA Axis	$d[m]$	0.032
Velocity of Grain	$v[m/rev]$	0.1
Radius of Silo	$R[m]$	2.5
Margin of Wall Side Stock	$p[m]$	0.1
Margin of Centre Stock	$q[m]$	0.15

표 2는 VSSA의 프로파일 커브를 위한 데이터이다. 실체는 2mm간격으로 구하였으나 지면의 제약으로 200mm 간격으로 보여주고 있다.

[표 2] 위치별 Blade의 높이

l 상의 위치 (m)	전개도 위치 (m)	Blade 지름 (m)	Blade 높이 (mm)
0.00	0.00	0.0413	4.65
0.20	0.28	0.0547	11.33
0.40	0.57	0.0645	16.24
0.60	0.85	0.0722	20.11
0.80	1.13	0.0785	23.25
1.00	1.41	0.0836	25.82
1.20	1.70	0.0879	27.93
1.40	1.98	0.0913	29.64
1.60	2.26	0.0940	31.00
1.80	2.55	0.0960	32.02
2.00	2.83	0.0986	33.31

그림 6은 표 2의 결과를 이용하여 도시한 프로파일 커브를 보여주고 있다.



[그림 6] VSSA 컨트롤 커브

그림 7은 표 2의 결과를 이용하여 제작한 VSSA이다.



[그림 7] VSSA

5.2 실험의 배치와 데이터의 정리[6]

1차 연구에서와 같이 본 실험에서도 주요인자는 SA의 형태인 VSSA, 표시인자로는 자전회전수를 표 3과 같이 채택하였다. 실험의 방법과 순서는 1차 연구와 같다.

[표 3] 실험조건과 요인

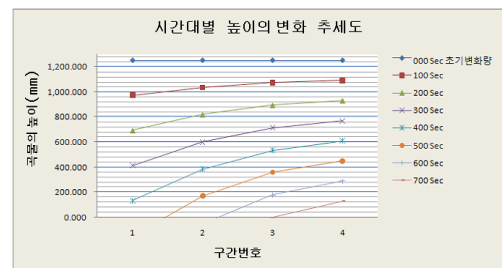
Factors	Specification	Value[unit]
Type of SA (VSSA)	Profile Curve	4.1 참조
	Lead(L)	100[mm]
	Total Length(l)	2000[mm]
Rotation		80[rpm]
		110[rpm]
		140[rpm]

본 실험은 회전수 인자의 모든 수준에서 실시하고 5초 간격으로 데이터를 조사하였다. 표 4에서는 지면의 제약으로 자전 회전수 110rpm 수준에서 실시한 4개 구간의 결과를 100초단위로 보여주고 있다.

[표 4] 시각별 구간의 높이

t(sec)	1구간(mm)	3구간(mm)	5구간(mm)	7구간(mm)
000	1250.0000	1250.0000	1250.0000	1250.0000
100	970.9821	1033.7370	1071.6833	1089.9488
200	691.9643	817.4740	893.3666	929.8976
300	412.9464	601.2111	715.0499	769.8464
400	133.9286	384.9481	536.7332	609.7951
500	0	168.6851	358.4165	449.7439
600	0	0	180.0999	289.6927
700	0	0	1.7832	129.6415

그림 8은 시간대별로 4개 구간에서 일어나는 곡물높이의 하강모습을 보여주고 있다.



[그림 8] 시간대별 높이 변화의 추세도

6. 결과분석과 성능 검증[5]

본 장에서는 구간별 유입특성과 적합한 성능을 가지고 있는지에 대한 두 가지 측면에서의 검증을 위하여 먼저 평가모형을 만들고 실험을 통하여 비교분석하는 과정을 소개한다.

6.1 구간별 효과의 차이 분석

실험데이터의 분석결과 모든 구간에서 효과에 대한 차이분석에서 유의수준 5%에서 현저한 차이가 있는 것으로 검증되었다. 따라서 VSSA는 중간유입 기능이 충분하다는 결론을 얻었다.

6.2 적합성 여부에 대한 검증

VSSA가 중간유입을 허용한다 하더라도 요구하는 수준의 성능을 발휘하는지를 알아보는 것은 매우 중요하다. 본 연구에서는 이를 위하여 먼저 원형 빈과 실험장치 간의 차이를 보상하여 평가할 수 있는 평가모형을 만들었다.

6.2.1 적합성 판별을 위한 평가모델

평가모형을 만들기 위하여 도입한 변수들의 설정 값은 표 5과 같다. 이 조건은 실제 실험에 적용된 것과 일치한다.

[표 5] 이론 모형의 적용 변수

Factors	Specification	Value[unit]
Type of SA (VSSA)	Profile Curve	[표2] 참고
	Lead(L)	100[mm]
	Total Length(<i>l</i>)	2000[mm]
	Rotation(<i>N</i>)	110[rpm]
	Efficiency(η)	98.3
Tank Dimension	Height(<i>SH</i>)	1250[mm]
	Width(<i>b</i>)	340[mm]
	Length(<i>SL</i>)	2000[mm]

실험에서 VSSA를 이용하여 배출되는 이론치 유동량 Q' 는 식(18)과 같이 유도할 수 있다.

$$Q' = \frac{1}{2} \rho b l \delta \quad (18)$$

여기서, b 는 실험장치의 폭, δ 는 각 구간에서의 단위 시간당 변화량이다. 따라서 VSSA에 의하여 발생하는 단위 시간 동안 처리할 수 있는 유동량 q_m 과 지름이 l 인 빈에서 처리해야 할 유동량 Q , 실험장치의 이론치 유동량

Q' 가 같아야 함으로 이들 관계를 정리하면 식(19)를 유도할 수 있다.

$$\rho \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \cdot \frac{NL}{60} = \frac{1}{2} \rho l^2 \omega h = \frac{1}{2} \rho b l \delta \quad (19)$$

식(19)를 δ 에 관하여 정리해서 식(20)을 구하고

$$\delta = \frac{l \omega h}{b} \quad (20)$$

같은 방법으로 ωh 에 관하여 식(21)을 구한 후

$$\omega h = \{2\pi(D^2 - d^2)NL\} / (240l^2) \quad (21)$$

위의 식들을 이용하여 t 시간 후의 임의의 i ($i=1, 2, 3, \dots, 10$)번째 구간에 대한 변화량 $\delta_i t$ 를 구하는 식을 식(22)와 같이 유도할 수 있다. 단, l_i 값은 중심에서부터 i 번째 구간의 중앙까지의 거리로 한다.

$$\delta_i t = \frac{l_i \omega h}{b} - t \quad (22)$$

실험 치와 비교할 수 있는 i 번째 구간의 곡물의 이론 높이 H_i 를 구하는 식은 초기 값 1250(mm)에서 매 시간 별 변화량 $\delta_i t$ 를 빼면 구할 수 있으므로 식(23)과 같이 정리할 수 있다. 단, η 는 시스템의 효율이다.

$$H_i = 1250 - (\delta_i t) \eta \quad (23)$$

6.2.2 적합성 판정을 위한 분석과 평가

실험결과와 이론치를 이용하여 모든 구간에서 수준별로 비교 분석을 실시하였다. 여기에서는 지면의 제약 상 대표구간으로 중앙에 위치한 5번 구간의 110rpm 수준에서 실시한 결과를 예시로 제시한다. 표 6은 실험결과와 높이 변화와 이론높이의 변화를 비교하여 보여주고 있다.

[표 6] 5구간 곡물의 높이 비교

t(sec)	이론 H_i (mm)	실제 h_i (mm)
0	1250.000	1250.0000
100	1071.808	1071.6833
200	893.616	893.3666
300	715.424	715.0499
400	537.233	536.7332
500	359.041	358.4165
600	180.849	180.0999
700	2.657	1.7832

표 6의 분석결과 유의 수준 5% 내에서 두 그룹의 특성이 일치한다는 것이 검증되었다. 따라서 VSSA는 적합한 성능을 발휘할 수 있는 것으로 판단된다.

7. 결론

본 연구는 곡물저장에 획기적인 전환을 가져올 일체형 시스템의 핵심적인 요소인 VSSA의 설계를 위한 이론체계를 수립하고 이를 검증하였다. 일련의 과정을 통하여 얻은 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 일체형시스템에서 SA는 축방향의 유입단면이 주 어지지 않으면 유입이 허용될 수 없기 때문에 중간유입을 위한 단면 분산을 제안하였다.
- (2) 중간유입량제어를 위한 가변단면의 프로파일 커브 설계를 위한 이론체계를 수립하였다.
- (3) 프로파일 커브의 기울기에 따라 입력이 결정 되므로 빈의 형상과 크기에 따라 적용할 수 있는 일반화 된 수식모형을 개발하였다.
- (4) 프로파일 커브를 갖는 VSSA를 이용한 실험과 분석을 통하여 단면분산효과와 제어능력에 대하여 검증하였다.

일체형시스템의 성공적인 운영을 위해서는 공정관리 및 제어기법의 개발도 매우 중요하기 때문에 효과적인 제어시스템 개발에 관한 연구도 함께 추진되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] 최갑용(Kab-Yong Choi), “일체형 곡물 건조/저장 시스템 개발을 위한 Straight Type Sweeping Auger의 이송 특성 분석에 관한 연구”, Journal of the Korea Academic-Industrial Cooperation Society, vol. 10, No. 3, pp. 521-528, 2009.
- [2] 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.
- [3] 정중훈(J.H. Chung), “곡물보관창고의 산물 시설화를 위한 곡물저장 시설의 개발(사각사일로 시스템)”, 한국농업학회지, 제20권 제2호, pp.151-161, 1995.
- [4] Donald R. Coughanowr, “Process Systems Analysis and Control”, McGRAW-HILL, pp.249-281, 2002.
- [5] 노형진, “통계적품질관리”, 한울출판사, pp.615-620, 6월 2008.
- [6] 박성현, “현대실험계획법”, 대영출판사, pp.115-140, 3월, 2002.
- [7] 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.

- [8] 금동혁, “수확 후 공정 공학”, 도서출판 씨아이알, pp.90-94, 8월, 2008.

최 갑 용(Kab-Yong Choi)

[정회원]



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

<관심분야>

시스템 설계/제어, CAD/CAM/CAE

오 태 일(Tae-II Oh)

[정회원]



- 1990년 2월 : 서울대학교 대학원 기계과 졸업(공학석사)
- 2002년 3월 : 서울대학교 대학원 기계과 (공학박사 수료)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 아주자동차대학 자동차계열 교수(자동차진단제어전공)

<관심분야>

자동차진동소음, 부품설계

신 성 호(Sung-Ho Shin)

[정회원]



- 1983년 2월 : 서울대학교 대학원 금속공학과 졸업(공학석사)
- 1988년 2월 : 서울대학교 대학원 금속공학과 졸업(공학박사)
- 1995년 3월 ~ 현재 : 아주자동차대학 자동차계열 교수(자동차발전공)

<관심분야>

금속공학, 부품시험분석