

2軸 押出機의 設計要因 및 移送量에 관한 分析

Design Parameters and Conveying Characteristics of Twin Screw Extruder

송대빈* 고태균* 김용현**
D. B. Song H. K. Koh Y. H. Kim

Summary

This research was conducted to determine a preliminary design parameters for the development of twin screw extruder using Booy's screw design method, and to analyze a extrusion process using Janssen's mathematical flow model.

In processing process, the experimental mass flow rates of corn flour and wheat flour were almost the same as theoretical values corrected by correction factors of 0.95 and 0.6 respectively. It was appeared that the mathematical model would be suitable to predict the conveying capacity.

1. 序 論

押出機를 이용한 식품 및 사료 제조공정은 과거 개별적인 기계에서 행하던 원료의 적정배합 및 공급, 혼합, 가열, 압축, 성형 등의 과정을 하나의 기계(압출기)에서 동시에 행할 수 있으므로 製造經費, 生産量, 製品의 品質 등에서 과거의 제조공정과는 비교할 수 없는 큰 利點을 가지고 있다. 특히 1980년대에 본격적으로 사용되기 시작한 2축 압출기는 신제품개발, 사용원료의 다양화, 저가격의 원료를 사용한 고급제품의 생산 등을 가능케하는 장점을 지니고 있어 전세계적으로 그 사용범위가 급속하게 늘어나고 있다.

押出工程에 관한 研究는 그 內容상 크게 두가지로 分類된다. 첫째, 식품제조업체나 研究機關

이 주축이 되어서 제품을 개발하는 實驗的인 研究가 이에 속한다. 즉 1930년대 중반 Pasta의 連續製造方法을 시작으로 하여 1930년대 말에 General Mills Inc.의 RTE(Ready To Eat) Cereal Pellet, 1946년 Adams Corp.의 膨化스낵이 개발되었고 1940년대 말 소화력과 식감을 증진시키기 위해 배럴에 가열장치를 부착시킨 일명 調理用압출기(cooking extruder)를 이용하여 사료 및 과자류의 제품이 개발되었으며, 이때부터 사용되기 시작한 가열장치로 인하여 압출기는 熱交換機로써 식품제조공정에 그 이용도가 급속하게 확대 되었다. 둘째, 압출 메카니즘을 근거로 압출공정에 관한 理論的 分析을 수행하는 연구가 이에 속한다. Janssen(1978) 등은 스크류와 배럴 사이에 형성되는 空間에서의 원료흐름을

+ 본 연구는 1990년도 교육부 학술연구조성비에 의한 자유공모과제로 선정되어 연구되었음.

* 서울대학교 농업생명과학대학.

** 전북대학교 농업기계공학과

연속된 일직선의 空間(unwound channel)으로 가정하고 이송량을 수식으로 제시하였으며, Booy(1978)는 完全 密閉形 2축압출기(self wiping type twin screw extruder) 스크류의 幾何學的 形상(geometry)에 관한 내용을 발표하면서 스크류와 배럴 사이에 형성되는 공간에서 흐름모델에 스크류의 형상에 따른 形狀係數를 추가하였다. Denson(1980) 등은 상기의 흐름모델에 관한 수식들에 數值解析法을 적용하여 배럴 내의 속도, 온도, 압력분포를 분석하였고, Tayeb(1988) 등은 역방향스크류(reverse screw)에서의 壓力損失 정도를 실험을 통하여 분석하였다. 또한 Kaplan(1974) 등은 1축형 압출기와 2축형 압출기의 이송량을 비교한 결과 2축형압출기의 移送能力이 1축형에 비하여 1.73배 더 높다고 보고하였다. Harper(1981) 등은 1축형압출기의 構造 및 生産製品別 工程要因을 제시하였다.

본 研究는 압출기의 國內開發을 위한 基礎資料의 蒐集과 실험을 통하여 제품 개발을 위한 押出工程 分析資料를 제시하고자 수행 되었으며, 그 구체적인 目的은 다음과 같다.

1. 2축 압출기(self wiping type twin screw extruder)의 국내 개발을 위한 機械設計 資料를 제시한다.

2. 원료 供給工程에서 이론식에 의한 스크류형 원료공급장치(screw feeder)의 供給量과 實驗值를 원료별로 비교하여 이론식의 妥當性을 檢證한다.

3. 處理工程중 원료 흐름에 관한 分析 및 移送量에 관한 數學的 模型을 개발하고, 이를 實驗值와 비교하여 數學的 模型의 妥當性을 檢證한다.

4. 스크류 리드의 配列變化에 따른 이송량의 變化特性을 분석한다.

2. 理論的 考察

가. 押出機 設計

(1) 스크류 設計

본 研究에서는 Booy(1980)가 제시한 내용을 중심으로 密閉形 2축 스크류를 설계하였던바 그 방법에 대해서 설명하고자 한다.

그림 1, 2, 3은 밀폐형 2축 스크류의 幾何學的 形狀 및 運動軌跡 그리고 Centerline ratio(ρ_c)와 Tip angle(α)과의 관계를 나타낸 도표이다.

그림 1과 2에 나타난 스크류 설계인자를 구하는 順序 및 方法은 다음과 같다.

① 스크류 외경(D) : 생산량 및 소요동력과 관련하여 결정함.

② 스크류 반경(R_s) : $D/2$

③ Centerline Ratio(ρ_c) : C_L/R_s , 그림 3을 참조하여 결정한다.

④ 축간거리(C_L) : $\rho_c \times R_s$

⑤ ϕ : $\cos^{-1} \frac{\rho_c}{2}$

⑥ Tip No.(n) : 스크류 가공성을 고려하여 선정함(보통 1~2).

⑦ Tip Angle(α) : $\alpha = \frac{\pi}{n} - 2\phi$

⑧ 스크류 Lead(t) : 스크류 외경과 관련하여 결정함(보통 0.5D~1.5D).

⑨ Channel width : $Z = \frac{t\theta}{2\pi}$

⑩ Channel depth : $h_0 = R_s(1 + \cos\theta) - \sqrt{C_L^2 - R_s^2 \sin^2\theta}$

①~⑧항에서 구한 R_s , C_L 을 상기 식 ⑨, ⑩에 대입하고 θ 를 0~360°로 변화시키면서 Z와 h_0 의 값을 구하여 스크류형상을 결정한다. 그러나 일반적으로 상기 ⑨, ⑩식에서 구한 값은 이론적인 것이며 실제로 스크류를 가공할때는 加工上의 어려움과 工具의 形狀때문에 그 형상이 약간 변하게 된다.

따라서 실제 원료실험을 통하여 설계, 제작된 스크류의 特性을 把握하여야 한다.

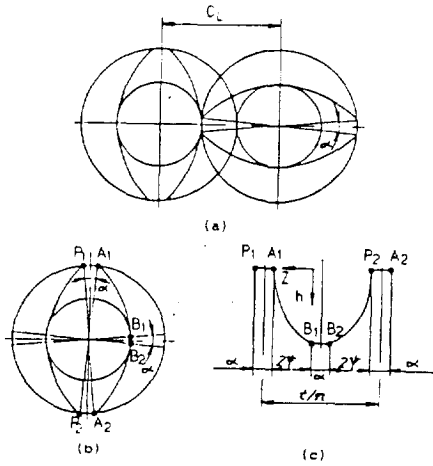


Fig. 1. Self wiping type screw geometry.

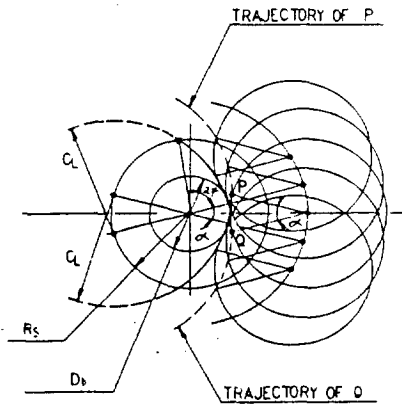


Fig. 2. Envelope of positions occupied by tip arc PQ during relative motion.

(2) 所要動力選定

압출공정중 발생되는 過負荷는 배럴내에서 원료의 흐름이 갑자기 中斷 되어 원료가 스크류와 배럴면 사이에 꼭 차여 스크류의 회전을 방해하는 것으로 水分供給이 갑자기 중단되거나, 원료投入量이 增加하거나, 다이出口가 이물질에 의해 막혀서 押出面積이 적어지는 경우 급격하게 발생된다. 이때 스크류축에 발생하는 토크에

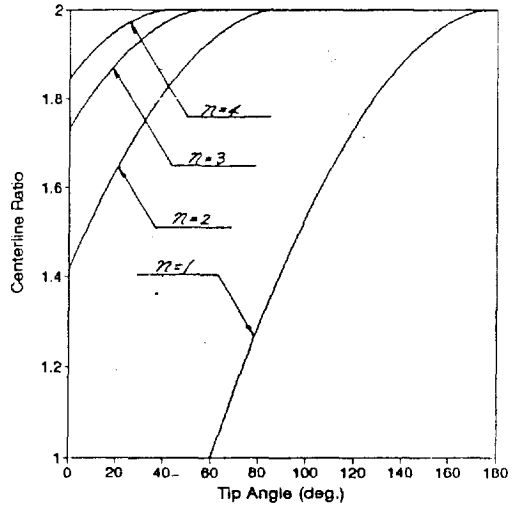


Fig. 3. Centerline ratio vs. tip angle.

충분히 전달 수 없는 경우 부러지게 되고 이는 상당한 費用損失을 招來하게된다. 따라서 다이 선단에서 원료흐름이 중단되었을 경우 스크류의 base diameter(\$D_b\$)가 전달할 수 있는 토크를 基準으로 必要동력을 決定한다. 이상의 내용을 數式으로 整理하면 다음과 같다.

- ① 스크류 base diameter 를 갖는 축의 전달 가능한 torque를 구한다.

$$T_s = \frac{\pi \cdot \tau_s \cdot D_b^3}{16} \dots\dots\dots (1)$$

- ② 전동기 torque를 구한다(2축을 구동시키므로 두배로 한다).

$$T_m = 2T_s \dots\dots\dots (2)$$

- ③ 전동기 출력을 구한다.

$$H_m = \frac{2\pi \cdot N_m \cdot T_m}{60} \dots\dots\dots (3)$$

여기서,

H_m : 전동기 출력(kW)

N_m : 전동기 회전수(rpm)

T_m : 전동기 torque(kN · m)

T_s : 스크류 회전축의 torque(kN · m)

τ_s : 안전율을 고려한 허용전단력(Pa)

D_b : 스크류 base diameter(m)

나. 押出 工程 分析

(1) 原料 供給工程

스크류형의 원료공급장치에서의 원료공급량은 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$Q = \kappa \times \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \times L \times \gamma \times 60 \dots\dots\dots (4)$$

여기서,

- Q : 공급량(kg/hr)
- D : 스크류 외경(m)
- k : 충만을
- d : 스크류 골경(m)
- N : 스크류 회전수(rpm)
- γ : 원료의 산물밀도(kg/m³)
- L : 스크류 lead(m)

(2) 原料 處理工程

압출 공정중에서 원료 처리공정은 完製品의 物性を 결정하는 중요한 공정이다. 이러한 物性에 影響을 미치는 중요한 인자로는 원료 공급량, 수분 공급량, 온도, 압력 그리고 원료의 이송속도(체류시간) 등이다.

處理過程을 이론적으로 분석하기 위해서는 상기의 要因들을 적절하게 조절할 수 있어야 하고, 각 요인들간의 關係가 數式으로 정립되어야 한다. 그러나 상기의 요인중 원료와 수분공급량이 외에는 외부적으로 조절이 불가능하고, 그에 따른 온도, 압력의 변화는 원료의 물성과 스크류 형상, 다이의 형상 등에 따라 변하기 때문에 처리공정을 이론적으로 明確하게 규명하는 것은 실제로 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 流體의 흐름에 대한 一般的인 定義 및 Janssen(1978), Booy(1978) 등 현재까지 발표된 文獻들의 내용을 토대로 제한된 가정하에서 배럴과 스크류사이에서의 흐름 모델을 다음과 같이 설정하였다.

배럴내에 투입된 원료는 그림 4에서와 같이 배럴과 스크류사이에서 형성되는 C자형 공간에 채워져서 스크류가 회전함에 따라 다이쪽으로 이동을 하게된다. 이때 원료의 흐름方向은 cha-

nnel 斷面을 중심으로 x方向(cross channel direction), y方向(height channel direction), z方向(down channel direction)으로 이루어진다. 이때 x, y, z방향의 流速을 각각 u, v, w라 하고 原料密度가 channel전구간에서 一定하다고 假定하면 흐름에 대한 運動方程式은 각각 다음과 같다.

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + v \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = X - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \dots\dots\dots (5a)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = Y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \dots\dots\dots (5b)$$

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + v \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = Z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \dots\dots\dots (5c)$$

여기서,

- ρ : 원료밀도(kg/m³)
- μ : 점성계수(N · s/m²)
- X, Y, Z : x, y, z 방향에 대한 체적힘(body force, N)

$$\frac{\partial p}{\partial x}, \frac{\partial p}{\partial y}, \frac{\partial p}{\partial z} : x, y, z 방향의 압력구배$$

$$u, v, w : x, y, z 방향의 속도성분$$

여기서 상기 운동방정식을 간단히하기 위해서 배럴과 스크류사이에서의 원료 흐름 모델을 다음과 같이 가정한다. 우선 흐름 구조에 있어서 스크류가 회전을 함에 따라 원료가 進行하는 것이 아니고 스크류가 고정된 상태에서 배럴이 회전하는 것으로 가정한다. 그리고 그림 4의 8자형 channel을 連續된 一直線의 channel로 가정한다. 그러면 흐름 모델을 그림 5와 같이 연속된 일직선의 channel위를 배럴면이 흐르는 構造로 생각할 수 있다.

여기서 다시 y, z방향의 흐름을 무시하고, x방향의 흐름을 정상상태의 균일유동(steady state uniform flow)으로 가정한 후 체적힘을 무시하면 그림 5의 흐름 모델에 대한 운동방정식은 다음과 같이 정리된다.

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \dots\dots\dots (6)$$

y=0에서 u=0, y=h₀에서 u=U, $\frac{\partial p}{\partial x}$ = 일정,

의 조건에서 식 (6)의 해를 구하면

$$u = \frac{U}{h_0} y - \frac{h_0^2}{2\mu} \times \frac{dP}{dx} \times \left[\left(\frac{y}{h_0} \right) - \left(\frac{y}{h_0} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (7)$$

이 된다.

이때 유량(flow rate)를 구하기 위해서 channel 폭을 W 라하면, 유량은

$$Q = W \int_0^{h_0} u dy = \frac{W}{2} U \cdot h_0 - h_0^3 \frac{W}{12\mu} \times \frac{dP}{dx} \dots\dots\dots (8)$$

이 된다.

결과적으로 處理過程의 흐름 모델을 그림 5와 같이 가정하였을 때 원료의 이송량은 식 (8)로 나타낼 수 있으며, 식 (8)에 의해서 계산되는 이송량은 스크류 회전수에 의한 影響과 先斷(다이)에서 형성되는 壓力에 의한 back flow 에 의해서 決定되어짐을 알 수 있다. 스크류 회전에 의한 흐름을 drag flow, 선단(다이)에서 형성되는 압력에 의한 back flow 를 pressure flow 라 한다.

마지막으로 상기 (8)의 우변 각항에 幾何學的 影響을 고려한 形狀係數 F_d, F_p를 곱하면 이송량을 구하는 이론식은 다음과 같이 決定된다.

$$Q = \frac{W}{2} U h_0 F_d - \frac{h_0^3 W}{12\mu} \times \frac{dP}{dx} F_p \dots\dots\dots (9)$$

形狀係數 F_d는 그림 6을 이용하여 결정한다.

본 실험에서는 압력에 의한 영향을 무시하기 위하여 다이를 설치하지 않았기 때문에 이송량은

$$Q = \frac{W}{2} U h_0 F_d \dots\dots\dots (10)$$

로 다시 나타낼수 있으며, 질량유량(mass flow rate)은 상기식에 산물밀도(γ)를 곱한 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$M = Q\gamma = \frac{W}{2} U h_0 F_d \gamma \dots\dots\dots (11)$$

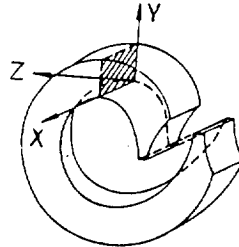
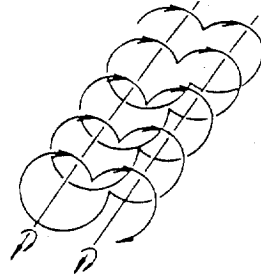


Fig. 4. Material flow in barrel.

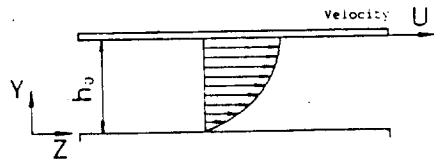
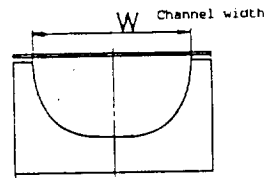
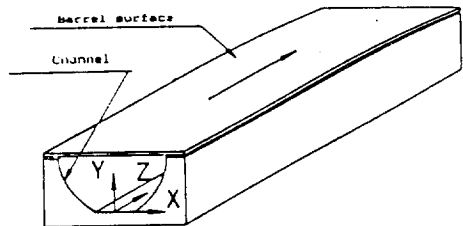


Fig. 5. Material flow in straight channel.

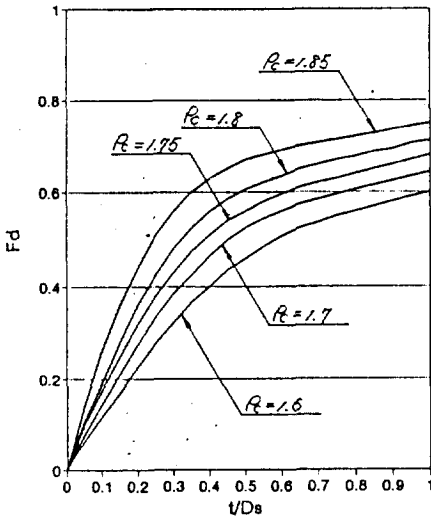


Fig. 6. Drag flow shape factors for n=2.

Table 2. Specifications for the screw of extruder.

Description	Symbol	Unit	Specification
Diameter	D	mm	44
No. of channel	m		3.195
Channel height	h ₀	mm	8.5
Tip angle	α	rad	0.3066
No. of tip	n		2
Channel width	W	mm	24.83
Centerline ratio	R _c		1.6
Flight angle	φ	degree	17.66/25.52
Drag coefficient	F _d		0.6
Lead	t	mm	44/66

표 2에서 채널의 수는 No. of tip와 Tip angle에 의해서 다음과 같이 표시된다.

$$m = 2m - 1 + \frac{\alpha n}{\pi} \dots\dots\dots (12)$$

한편, flight angle은 식 (13)에 의해서 구해진다.

$$\phi = \tan^{-1} \frac{t}{\pi D} \dots\dots\dots (13)$$

3. 材料 및 方法

가. 實驗材料

(1) 供試 押出機

본 實驗을 위해서 韓國食品開發研究院의 押出機를 公시기계로 사용하였다. 公시기계 및 스크류에 대한 상세한 내용은 표 1과 2에 실려 있다.

Table 1. Specifications for the extruder used in this experiment.

Description	Specifications
Maker	BUHLER(SWISS)
Model name	DNDL 40
Screw diameter(mm)	44
Screw length(mm)	528
Barrel number(ea)	3
Capacity(kg/hr)	~300
Screw rev.(rpm)	~450
Motor cap.(kW)	20

(2) 使用 材料

본 실험의 공시재료로서 밀가루, 양어사료, 옥수수가루의 3종류를 사용하였으며, 原料構成 내용은 표 3과 같다.

Table 3. Specifications for the sample material used in this experiment.

Material	Maker	Component
Wheat flour	대한제분	중력 밀가루, 회분함량 0.5%
Fish feed	(주)미원	어분(34%), 소맥(24%)
Corn flour	(주)미원	대두박(30%), 탈지강(7%), 어유(1%), 기타(4%)

나. 實驗 方法

(1) 散物 密度의 測定

원료의 供給量 및 이송량을 이론적으로 計算하고자 먼저 사용원료의 散物密度를 측정하였다. 산물밀도 측정장치(Burrows, USA)를 이용

하여 3회 반복 측정된 測定값의 平均値를 원료의 散物密度로 결정하였다.

(2) 부피감소를 측정

분체의 경우 壓力을 받으면 부피가 변하게 되므로 이론 공급량 및 이송량을 정확하게 계산하려면 원료의 散物密度에 부피감소율에 따른 影響을 고려하여야 한다. 따라서 원료를 원형의 용기속에 채우고 부피가 더이상 줄어들지 않는 상태까지 荷重을 反復的으로 가하여 그때의 부피감소율을 測定하였다.

(3) 原料 供給量의 測定

스크류형 원료 공급장치를 사용하여 스크류회전수 50rpm, 100rpm, 200rpm, 300rpm, 400rpm, 500rpm, 564(max.)rpm에서 각 원료별로 1분간 공급되는 양을 채취하여 그 무게를 측정하였다.

(4) 배럴내에서의 移送量 測定

원료공급은 표 2에 제시된 스크류를 사용하여 배럴 投入口에 原料가 쌓이는 정도로 供給을 하였다. 組立된 스크류 길이는 528mm 이고, 배럴은 3개를 조립하여 사용하였다. 또한 壓力에 의한 影響을 무시하기 위하여 다이는 사용하지 않았으며, 水分에 의한 散物密度의 변화를 방지하고자 수분은 첨가하지 않았다.

이상의 장치를 사용하여 스크류 리이드 44/66 / 44+66/ 66+44/ 44+66+44/ 66+44+66의 경우에 대해 스크류 회전수 50rpm, 60rpm, 67.5 rpm, 76.5rpm, 90rpm, 100rpm에서 각 원료별로 1분간 이송되는 원료를 배럴 선단에서 채취하여 그 무게를 測定하였다.

4. 結果 및 考察

가. 原料 散物 密度

표 4는 각 원료별 散物密度의 測定값을 나타낸 것이다.

Table 4. Bulk density of material.

Mat'l	Value	Bulk density(kg/m ³)			Mean (kg/m ³)
	Rep.	#1	#2	#3	
Wheat flour		481.05	481.58	485.96	482.8
Fish feed		462.98	463.51	462.11	462.8
Corn flour		510.8	512.04	518.01	513.6

나. 부피감소율

각 원료별에 대한 부피감소율의 측정치는 표 5와 같으며 이때 부피감소율은 압축을 하기전의 일정한 체적(=1001,607cm³)에 대한 감소된 체적의 백분율로서 정의된다.

Table 5. Volume reduction rate of material.

Mat'l	Value	Bulk density(kg/m ³)			Volume reduction (rate(%))
	Rep.	#1	#2	#3	
Wheat flour		395.635	392.63	416.669	40.1
Fish feed		313,278	300.041	308.866	30.7
Corn flour		150.02	185.319	167.67	16.7

다. 原料 供給量

그림 7, 8 및 9는 밀가루, 양어 사료, 옥수수가루의 공급량에 대한 이론치와 실측치를 각 회전수 별로 비교하여 나타낸 도표이다. 표 5에서 원료별 공급량을 회전수의 函數로만 가정하고 분석한 결과 그림 7, 8 및 9에서와 같이 理論値와 實測値가 각 回轉數別로 거의 一致하였고 회전수가 增加함에 따라 원료공급량도 증가하였다. 단, 밀가루의 경우 300rpm에서, 양어 사료의 경우 500rpm에서 다소 큰 差異를 나타내는데 이것은 순간적인 架橋 現象에 의한 일시적인 공급량 不足 때문인 것으로 생각 된다. 그림 10은 각 원료별 공급량 실측치를 회전수별로 나타낸 도표이다. 각 원료의 散物密度가 옥수수가루(513.6 kg/m³), 밀가루(482.8kg/m³), 양어 사료(462.8kg/m³)의 順으로 큰값을 보였기 때문에 공급량 역시 옥수수가루, 밀가루, 양어사료의 順으로 크게 나

타날 것으로 예상했으나 350rpm 이하에서 양어 사료가 밀가루보다 약간 높게 나타났다. 이것 역시 위에서 언급한 원료의 不均一 공급 때문인 것으로 생각된다.

이상의 結果로부터 본 實驗에 사용된 스크류형 원료공급장치의 원료공급량은 스크류回轉數에 의해 決定할 수 있으며, 원료의 安定的인 공급을 위해서 가교현상을 방지할 수 있는 별도의 장치가 필요함을 確認하였다.

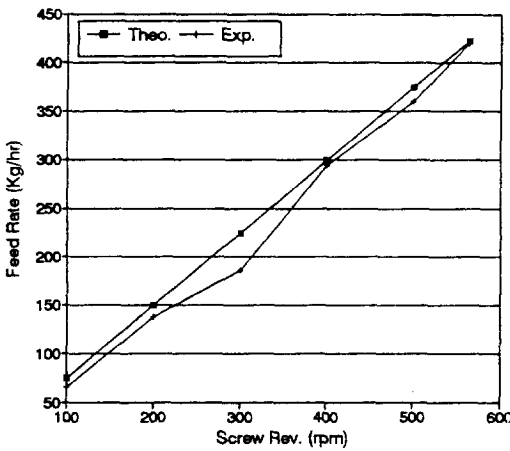


Fig. 7. Feed rate vs. screw revolution for wheat flour.

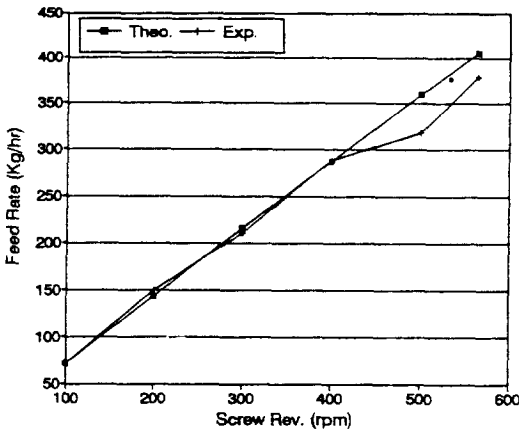


Fig. 8. Feed rate vs. screw revolution for fish feed.

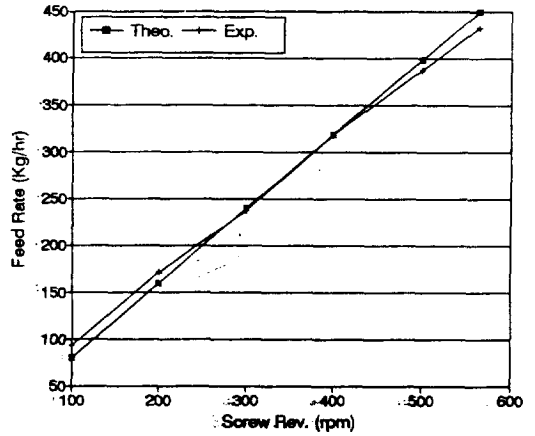


Fig. 9. Feed rate vs. screw revolution for corn flour.

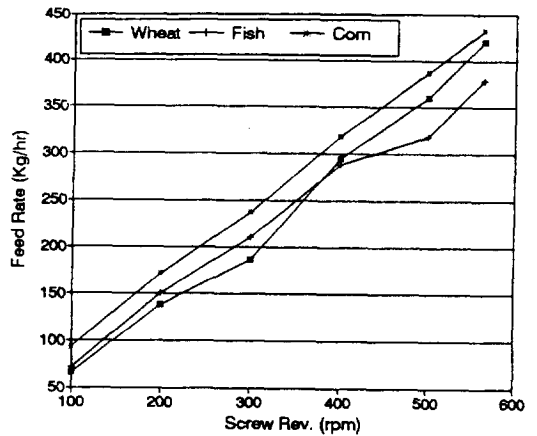


Fig. 10. Feed rate vs. screw revolution for wheat/fish/corn.

라. 배럴내의 移送量

原料 供給工程과는 달리 배럴내로 공급된 원료는 이송되는 동안 2축 스크류의 密閉性으로 인하여 壓縮을 받게되고 이때 발생되는 부피감소율에 따라 이송량이 변하게 된다. 따라서 이송량의 이론치는 상기 식(11)에 부피감소율에 따른 수정계수(correction factor)를 추가하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$M = m \cdot F_d \cdot h_o \cdot W \cdot \pi \cdot R_s \cdot N \cdot \gamma \cdot \cos\phi \cdot F_c \dots\dots\dots (14)$$

여기서, F_c = 보정계수

N = 스크류의 회전수

식 (12)에서 결정된 m 값은 3.195이며, 식 (13)에서 구한 flight angle은 리드 44인 경우 17.66°, 리드 66인 경우 25.52°로 나타났다.

본 실험에 사용된 채널의 높이와 폭은 각각 0.0085m 및 0.02483m이며, 스크류의 반경은 0.0022m에 해당된다.

(1) 스크류 리드 $L=66$ 일 경우 移送量

그림 11 및 12는 밀가루와 옥수수가루에 대한 이송량의 實測値와 理論値(修正係數를 고려하지 않은 數値) 그리고 修正値(修正係數를 고려한 數値)를 比較한 圖表이다. 밀가루의 경우 실측치가 이론치의 약 58% 정도를 나타냈고 수정계수를 0.6으로 계산한 수정치와는 거의 一致하게 나타났다. 이론치와 실측치가 비교적 큰 差異를 나타낸 것은 배럴내에서 壓縮으로 발생하는 空間에 原料가 채워지는데 必要되는 時間에 따라 이송량이 減少하였기 때문이다. 옥수수가루의 경우는 실측치와 이론치 그리고 수정계수를 0.95로 계산한 수정치가 거의 一致하였다.

수정계수의 선정은 原料의 부피감소율을 고려하여 결정을 해야하는데, 部피감소가 最大로 되는 경우 밀가루는 0.6, 옥수수가루는 0.83이 된다. 이때 밀가루의 경우는 실측치와 수정치가 거의 일치 하였으나 옥수수가루의 경우는 실측치와 수정치가 비교적 큰 差異를 나타냈다. 이것은 배럴내에서 동일한 壓縮을 받았을때 部피가 減少되는 傾向이 原料에 따라 다르기 때문인 것으로 생각된다. 즉 밀가루의 경우는 部피가 완전히 압축을 받은후 先端으로 이송이 되지만, 옥수수가루의 경우는 완전히 압축을 받기전에 이송이 되는 것으로 판단된다.

따라서 밀가루는 修正係數를 0.6, 옥수수가루는 修正係數를 0.95로 하는 것이 이송량의 推定에 有用하게 사용될 것으로 판단된다.

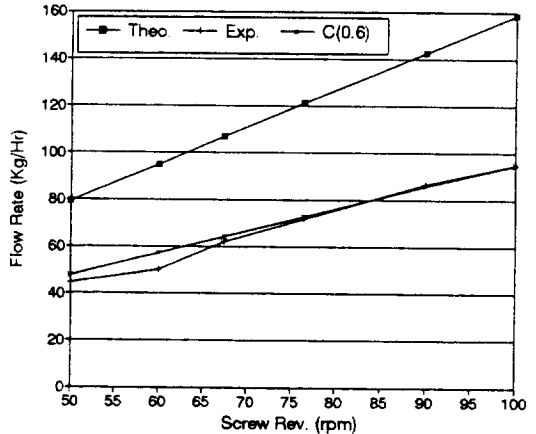


Fig. 11. Mass flow rate vs. screw rev. for wheat flour(L=66)

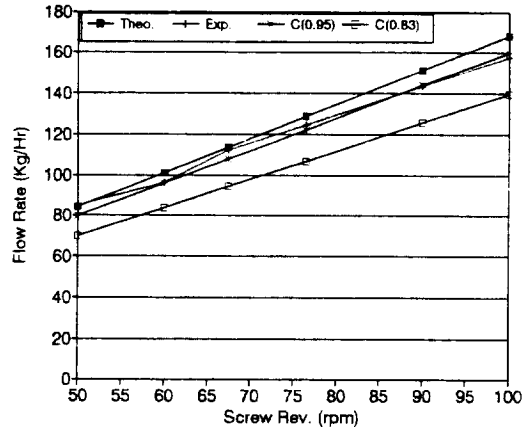


Fig. 12. Mass flow rate vs. screw rev. for corn flour(L=66)

(2) 스크류 리드 $L=44$ 일 경우 移送量

밀가루와 옥수수가루에 대한 移送量의 實測値와 理論値(修正係數를 고려하지 않은 數値) 그리고 修正値(修正係數를 고려한 數値)를 比較한 圖表가 그림 13 및 14에 실려있다. 밀가루의 경우 실측치가 각 회전수별로 이론치의 약 73% 程度 그리고 수정치보다 약 21% 정도 높게 나타났으며, 옥수수가루의 경우 실측치가 이론치보다 약 11% 정도 그리고 수정치보다 약 17% 정도 높게 나타났다. $L=66$ 의 경우와 달리 각각의 경우에

실측치가 수정치보다 높게 나타난 이유는 스크류조합을 할 때 리드 44용 스크류가 부족하여 원료가 투입되는 부분에 리드 66 스크류 1개씩을 사용하였기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 리드 44만으로 스크류조합을 한다면 실측치와 수정치가 거의 일치할 것으로 판단된다.

이상 스크류 조합을 동일하게 하였을 때의移送량을 分析한 結果 본 實驗에서 일직선 채널 흐름으로 가정하여 제시한 이송량에 관한 이론식

이 회전수별 이송량을 推定하는데 매우 有用하게 사용될 수 있음을 確認 하였으며, 이때 修正係數는 밀가루의 경우 0.6, 옥수수가루에서는 0.95가 적절한 것으로 나타났다.

(3) 스크류 리드변화에 따른 移送量

전항의 實驗結果 옥수수가루의 경우가 이론식과 거의 일치하는 傾向을 보였기 때문에 스크류 리드변화에 따른 이송량의 변화분석에는 옥수수가루만을 實驗原料로 하였다.

그림 15는 전 스크류길이를 2등분하여 원료 투입부에서 中間까지는 리드 44를, 中間에서 先斷까지는 리드 66을 사용했을 경우 이송량의 실측치와 리드 44와 66만을 사용했을 경우 이송량의 실측치를 同時에 比較한 그림이다. 또 그림 16은 스크류조합을 그림 15의 경우와 正반대로 하였을 경우 측정된 실측치를 比較한 것이다. 투입부에 리드 66을 사용한 경우 리드 44만 사용한 경우보다 높게 나타났으며 리드 66만을 사용한 경우보다 낮게 나타났고, 투입부에 리드 44를 사용했을 때는 리드 44만을 사용했을 때와 비슷한 傾向을 보였다.

그림 17은 전 스크류길이를 3등분하여 원료 투입부와 선단에는 리드 44를, 中間부에는 리드 66을 조합하여 사용한 경우의 실측치를 比較한 것이며, 그림 18은 그림 17의 경우와 스크류조합을 반대로 하였을 경우의 실측치를 比較한 것이다. 투입부와 先斷부에 리드 44를 사용한 경우 이송량이 리드 44만을 사용한 경우보다 약간 낮게 나타났다. 반대로 조합을 한 경우 리드 66만을 사용한 경우보다 낮게 나타났으나 대체로 66만을 사용한 경우와 近接하는 傾向을 나타냈다.

이상의 結果를 살펴볼 때 긴 리드의 스크류와 짧은 리드의 스크류를 조합해서 사용하는 경우 이송량은 긴 리드만을 사용했을 때 보다는 낮게 나타났으나, 짧은 리드만을 사용했을 경우와 比較하면 비슷하거나 다소 높게 나타났다. 또한 원료 투입부에 긴 리드의 스크류를 사용할 경우 짧은 리드를 사용한 경우보다 이송량이 높게 나

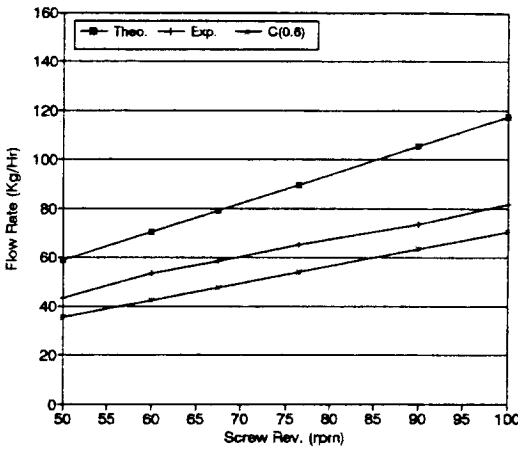


Fig. 13. Mass flow rate vs. screw rev. for wheat flour(L=44)

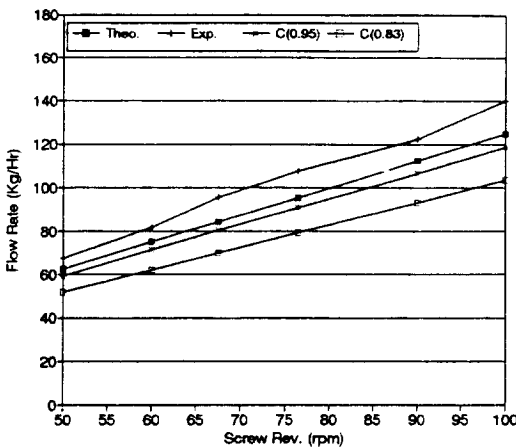


Fig. 14. Mass flow rate vs. screw rev. for corn flour(L=44)

타났으며, 특히 짧은 리드의 스크류를 원료 투입부에 사용한 경우 스크류 조합형태에 關係없이 짧은 리드만을 사용했을 때의 이송량과 비슷한 傾向을 나타냈다.

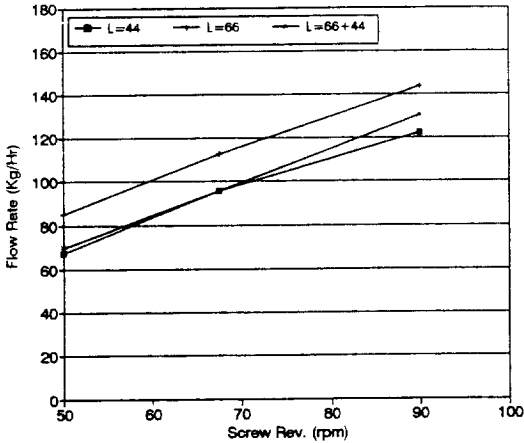


Fig. 15. Mass flow rate vs. screw rev. for L=44 /66/66+44.

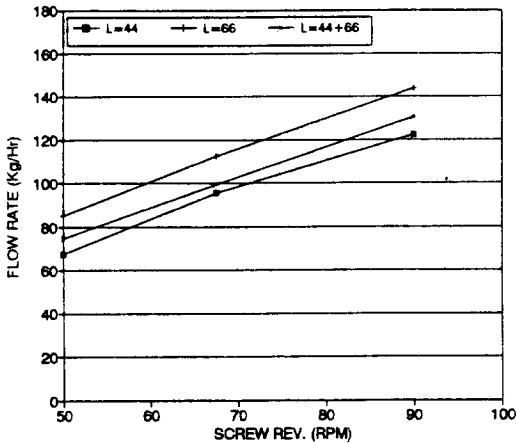


Fig. 16. Mass flow rate vs. screw rev. for L=44 /66/44+66.

5. 要約 및 結論

본 研究는 食品製造分野에서 다양한 用途로 사용되고있는 2軸 押出機의 國內開發을 위한 基

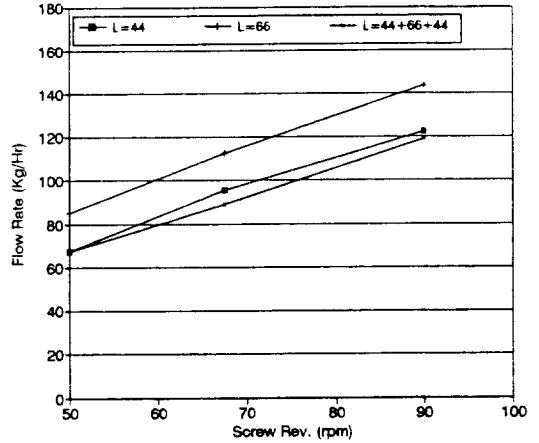


Fig. 17. Mass flow rate vs. screw rev. for L=44 /66/44+66+44.

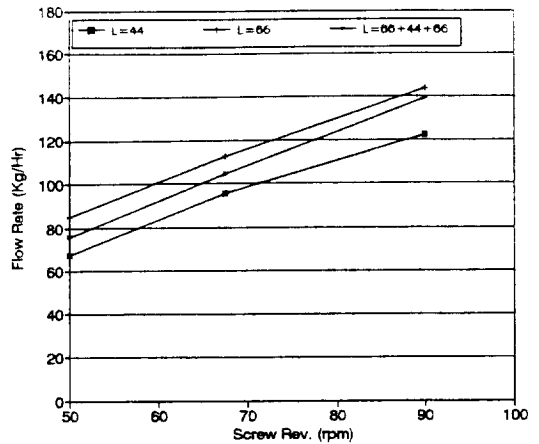


Fig. 18. Mass flow rate vs. screw rev. for L=44 /66/66+44+66.

礎資料 및 製品開發을 위한 압출공정 分析資料를 實驗을 통하여 제시하고자 遂行되었다. 기계설계자료는 Booy(1980)가 제시한 스크류설계에 관한 내용을 기본으로 機械所要動力을 選定하는 方法 및 數式을 제시하였고, 압출공정분석은 Janssen(1978)등이 제시한 내용을 중심으로 제한된 가정하에서 原料移送에 관한 數學的 模型을 開發하고 實驗을 통하여 이론식의 妥當性을 檢

證하였으며 스크류조합에 따른 이송량의 變化特性을 分析하였다.

이상의 分析 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 2축 압출기 自體開發을 위해서 完全 密閉形 (Self Wiping Type) 스크류의 設計因子를 결정하는 數式 및 方法, 스크류 形狀에 따른 기계의 所要動力을 구하는 數式을 提示하였다.
2. 原料供給工程에서 공급량은 이론식에 의한 計算値와 實驗値가 거의 一致하였으며, 동일한 회전수에서는 원료의 散物密度가 높을 경우 공급량도 높게 나타났다.
3. 原料處理工程에서 이송량은 옥수수가루의 경우, 동일한 리드의 스크류만을 사용했을 때 이론치와 실측치가 거의 一致하였으나, 밀가루의 경우 差異를 나타냈다. 이러한 차이는 배럴내에서 원료가 壓縮되어 부피가 減少되기 때문인 것으로 判斷된다. 한편 부피감소율의 영향을 고려하여 밀가루와 옥수수가루의 수정계수를 각각 0.6 및 0.95로 도입한 결과 實驗値와 거의 一致 하였다. 따라서 본 연구에서 제시한 일직선 Channel 흐름모델 및 이송량에 관한 數式이 이송량 推定에 유용하게 사용될 것으로 판단된다.
4. 긴 리드의 스크류와 짧은 리드의 스크류를 組合해서 使用한 경우 移送量은 긴 리드만을 사용한 경우보다 낮게 나타났으며 짧은 리드만을 사

용한 경우와는 비슷하게 나타났고, 원료 投入部에 긴 리드의 스크류를 사용한 경우 짧은 리드의 스크류를 사용한 경우보다 높게 나타났다. 특히 원료 投入部에 짧은 리드의 스크류를 사용한 경우 스크류 組合에 關係없이 짧은 리드를 사용한 경우에 비해서 낮거나 비슷하게 나타났다.

參 考 文 獻

1. Booy, M. L., 1978. Geometry of Fully Wiped Twin Screw Equipment. Polym. Eng. Sci. Vol. 18, No. 12.
2. Booy, M. L., 1980. Isothermal Flow of Viscous Liquids in Co-Rotating Twin Screw Devices. Polym. Eng. Sci. 20 : 1220-1228.
3. Denson, C. D., and B. K. Whang. 1980. The Influence of Axial Pressure Gradient on Flow Rate for Newtonian Liquids in a Self Wiping Co-Rotating Twin Screw Extruder. Polym. Eng. Sci. 20 : 965-971.
4. Harper, J. M., 1981. Extrusion of Food. CRC Press Inc., Boca Raton, FL.
5. Janssen, L. P. B. M., 1978. Twin Screw Extrusion. Elsevier Sci. Publ., Amsterdam.
6. Kaplan, A. and Tadmor. 1974. Theoretical Model for Nonintermeshing Twin Screw Extruder. Polym. Eng. Sci. 14 : 58-66.