

개량 곳간용 벼移送裝置 開發⁺

Development of a Rough Rice Handling Equipment for In-Bin Drying and Storage System

張 東 日*

D. I. Chang

Summary

The objective of this study is to develop a grain handling system for loading, unloading and transporting of rough rice stored at the in-bin drying and storage (IBDS) developed by the Korea Advanced Institute of Science and Technology(KAIST).

A mechanized grain handling system consisted of a portable auger and a gate was developed and tested. The test results can be summarized as the following:

- 1) The loading capacity of the handling system developed is $16.2 \text{ m}^3/\text{h}$ (8.3 ton/h) for the Indica type rice and $13.0 \text{ m}^3/\text{h}$ (7.3 ton/h) for the Japonica type. It is greater than that of manual handling as much as 2.5 - 2.7 times.
- 2) The unloading capacity of the handling system developed is $16.0 \text{ m}^3/\text{h}$ (8.2 ton/h) for the Indica type rice and $12.6 \text{ m}^3/\text{h}$ (7.0 ton/h) for the Japonica type. It is greater than that of the manual as much as 4.7 - 5.5 times.
- 3) For 3-ton capacity of the storage, the loading and unloading can be performed for 20 and 30 minutes by one man operation of equipment, while 60 and 120 minutes for the manual of 2 men, respectively.
- 4) The volumetric efficiency of the system developed is 0.42 - 0.54 and the power efficiency is 4.0 - 4.4.
- 5) The break-even quantity of the handling system developed is about 38.6 ton (68.7 m^3) of rough rice and the initial investment for the system would be returned within five years for the most owners of the KAIST IBDS system.

1. 緒 論

아직도 우리나라의 농촌에서는 벼의 乾燥方法으로 天日乾燥方法이 널리 사용되고 있다. 그런데 농촌경제의 발전과 農村勞動力의 급격한 감소에 의한 벼의 콤바인 收穫量이 증가하고 있어서 콤바인에 의해 탈곡된 물벼의 건조를 天日乾燥方法에 의하여 수행하기에 어려움이 발생하기에 이르렀다.

이와같은 문제의 解決策의 하나로 韓國科學技術

院(KAIST)은 소규모 농가에서 벼의 乾燥 및 貯藏을 동시에 할 수 있는 개량곳간(KAIST IBDS)을 개발하였으며, 1987년말 현재 전국에 약 50,000棟이 보급되어 사용되고 있다.

그러나 개량곳간에 散物로 乾燥 및 貯藏되는 벼의 入出庫 작업이 勞動力에 의하여 수행되어 작업의 能率이 매우 낮고, 더구나 運搬시스템과 連繫하여 작업하기가 쉽지 않다. 그러므로 張^{*)}은 이와같은 문제점을 해결하고 곡물의 散物移送의 實用化를

*본 연구는 1987년도 한국과학기술원(KAIST)의 연구비 지원에 의하여 수행된 것임.

*忠南大學校 農科大學 農業機械工學科

축진하고자 개량곳간의 散物入出庫를 위한 移送裝置의 개발을 提案하였다.

本 연구는 개량곳간에 散物로 乾燥 및 貯藏되는 移의 入出庫 作業을 機械化 할 수 있는 移送裝置를 개발하는 데 그 目的이 있다.

2. 研究史

張¹⁾은 移의 수확후의 散物作業體系를 위하여 몇 개의 모델시스템을 개발하고, 이들의 實用化 方案을 제안하였는데 그 중의 하나로 개량곳간의 移 入出庫 作業을 機械化 할 수 있도록 移動式 오거 (auger)의 개발을 제안하였다.

과거 여러 연구자들^{14, 18, 19, 20, 22)}이 移動式 오거의 주요 부품인 스크류 콘베이어 (screw conveyor)의 設計基礎에 대하여 연구하여 왔는데, Ross와 Isaacs²¹⁾은 원통형 파이프 안에 설치된 스크류 콘베이어의 容量結定을 위한 理論的 접근에 의한 公式化를 연구하였으며, Rehkugler와 Boyd²⁰⁾는 스크류 콘베이어의 容量과 소요토크를 예측하는 理論的 方程式의 한계를 발견하고 오거의 성능을 분석하는 새로운 방법으로 次元解析法을 利用하였다. 그뒤 1967년에는 스크류 콘베이어에 대한 State-of-the-art를 Rehkugler¹⁹⁾가 발표하였는데 이것은 스크류 콘베이어의 설계에 가치있는 연구결과로 지금도 스크류 콘베이어의 설계에 널리 이용되고 있다.

또한 몇몇 연구자들^{15, 16)}에 의하여 스크류 콘베이어의 最適設計가 연구되었다. Rehkugler¹⁹⁾, Brusewitz와 Persson¹⁵⁾는 最適設計에 Volumetric efficiency, Power efficiency 그리고 經濟性 分析이 포함되어야 할 것을 제안하였으며 Brusewitz 와 Persson¹⁵⁾은 특히 최적설계시의 스크류 콘베이어의 設計項目과 이들의 次序를 제시하였다.

그밖에 Chhabra 등¹⁶⁾은 곡물의 水分含水率이 소용동력에 미치는 영향에 대하여 밝혔고, Ross 등²¹⁾은 스크류 콘베이어의 容量調節裝置를 개발하였으며, ASAE^{12, 13)}는 農用오거設計에 필요한 용어와 設計標準을 발표하여 設計指針을 제공하고 있다.

3. 移送裝置 設計

本 연구의 目的을 달성하고자 Fig. 1과 같은 절

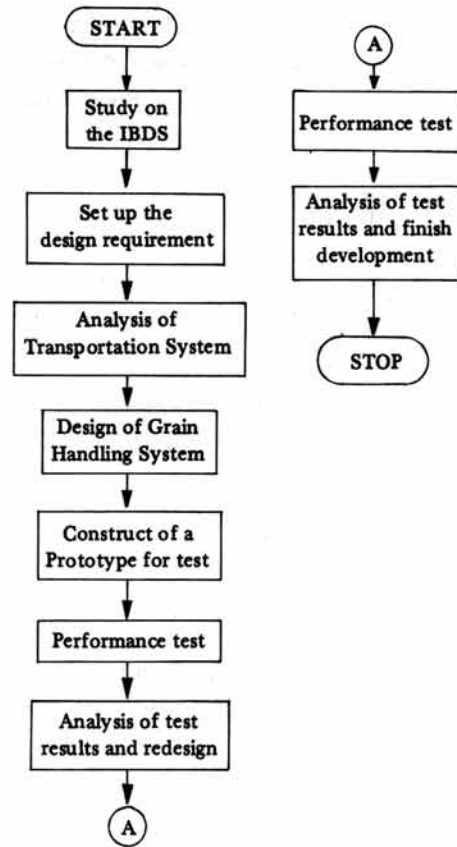


Fig. 1. Development procedures of a mechanized grain handling systems for the KAIST IBDS system

차를 따라서 移 移送裝置를 개발하였다. 移送裝置는 移動式 오거와 개량곳간의 構문으로 構成되어 있다.

가. 移送裝置의 設計條件

- 1) 入出庫 作業을 한사람이 쉽게 할 수 있도록 小型이고 移動式 일것.
- 2) 3톤 규모의 개량곳간에 移의 入出庫 作業을 20~30분안에 수행할 수 있을 것.
- 3) Volumetric efficiency는 0.4~0.8, Power efficiency는 2~6이 될 것(Brusewitz and Persson¹⁵⁾).
- 4) 移送作業은 운반시스템과 직접 連繫되어 수행될 수 있을 것.
- 5) 裝置에 대한 初期投資費用은 5년안에 回收가 가능할 것.

본 연구에서 最適設計의 性能指數로 사용된 스크류 콘베이어의 設計變數들은 Rehkugler¹¹⁾가 제시한 다음과 같은 Volumetric efficiency와 Power efficiency이다.

$$\eta_v = \frac{Q}{\frac{\pi}{4}(D_c^2 - D_{sc}^2)(P_c - t)N} \dots\dots\dots (1)$$

$$\eta_p = \frac{E}{Q\gamma Z_s} \dots\dots\dots (2)$$

여기서,

- η_v = Volumetric efficiency
- η_p = 수평이동시의 Power efficiency
- Q = 단위시간당의 스크류 콘베이어의 실제이송부피
- D_c = 오거 케이스의 내부직경
- D_{sc} = 스크류 축의 직경
- P_c = 피치(pitch) 길이
- t = 오거 날개(flighting)의 두께
- N = 단위시간당의 스크류의 회전속도
- E = 베어링 손실을 제외한 스크류 회전에 필요한 동력
- γ = 곡물의 比重量
- Z_s = 오거의 총 축길이

나. 運搬시스템

개량곳간을 위한 벼 移送裝置를 설계하기 위하여는 이것과 직접적으로 연관된 運搬裝置의 분석이 필요하게 된다. 忠南지역의 조사에 의하면 개량곳간을 소유한 농가의 주요 運搬手段은 경운기, 트랙터, 트럭이었다.

移動式 오거의 설계에 있어서 오거의 길이를 결정함은 매우 중요하다. 왜냐하면 오거의 길이가 곡물을 貯藏庫 또는 運搬機具의 중앙에 荷役할 수 있을 만큼 충분히 길어야 하기 때문이다. 그러므로 개량곳간과 運搬機具의 크기를 비교 검토하고 이들의 최대높이보다 더 높게 오거의 높이를 설계하여야 한다. Table 1는 이들의 크기를 보여주고 있다.

다. 穀物移送裝置

1) 오거의 길이

오거의 길이는 Gilmore & Tatge¹²⁾에 의하여 식(3)과 같이 결정한다. 여기서 높이, 길이 또는 폭은 貯藏庫 또는 運搬機具의 치수를 말한다.

Table 1. Specifications of the KAIST IBDS system and trailers of transporting systems

Unit: meter

Dimension System	Length	Width	Height
	Power tiller	1.4 - 1.8	0.9
Tractor	2.4 - 3.0	1.4 - 1.7	1.3 - 1.6
Truck	4.3	1.9	1.4
KAIST IBDS	2.5	1.9	1.5

$$\text{오거길이} = \left[\text{높이} + \frac{1}{2} * (\text{길이 또는 폭}) \right] * 1.4 \dots (3)$$

運搬機具중 크기가 큰 트랙터와 개량곳간에 대하여 설계한 결과 360cm가 適正한 길이였다.

2) 오거 날개(Flighting)와 所要動力

오거 날개와 所要動力의 설계결과는 Fig2, 3, 4와 Table2와 같은데 이들의 설계는 다음에 의하여 이루어졌다.

가) ASAE Engineering Practice: EP389 (ASAE)¹³⁾

나) 設計條件

다) Volumetric efficiency와 Power efficiency 分析

라) 設計時的 考慮事項¹⁴⁾

마) 金과 高¹⁵⁾에 의한 벼의 物理的 特性

3) 積荷호퍼(loading hopper)와 荷役(unloading) 쪽문

그밖에 개량곳간에 벼를 入庫하기 위하여 着脫이 가능한 호퍼가 설계되었으며, 개량곳간의 쪽문이 7개 있는데, 이것들을 열지않고도 移動式 오거의 흡입구 부문을 개량곳간 안에 넣을 수 있도록 밑에서 두번째의 쪽문을 改造設計하였다(Fig. 5의 쪽문 부분 참조).

4. 結果 및 考察

가. 性能試驗

개발된 米穀移送裝置의 性能試驗은 忠南 大德郡 九則面 官坪里的 농가에 설치된 개량곳간에서 실시

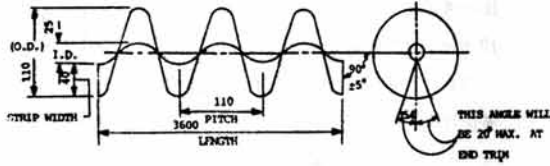


Fig. 2. Specifications of auger flighting feature

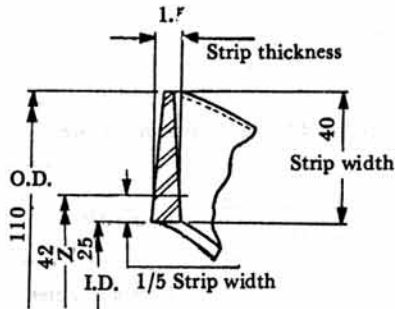


Fig. 3. Specifications of flighting strip

하였다. 시험개량공간은 標準設計에 의한 3톤규모의 개량공간이었으며, Fig. 5는 시험현장의 개량공간에서 개발된 移送裝置의 벼를 荷役하는 모습을 보

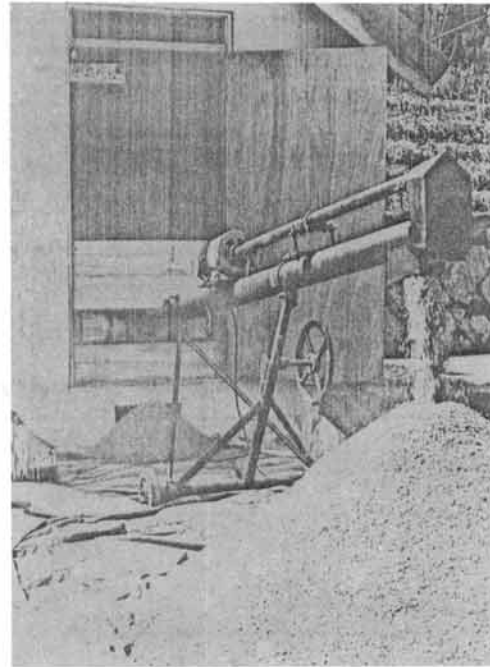
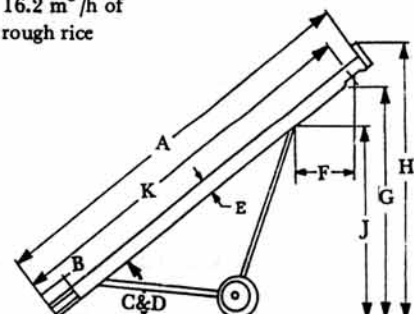


Fig. 5. Unloading operation of the portable auger system developed

Table 2. Specifications of the portable auger developed

Item	Content	Dimension	Remark
	Inside diameter (I.D.)	25 mm	Handling capacity: 16.2 m ³ /h of rough rice 
	Outside diameter (O.D.)	110 mm	
	Pitch of flighting	110 mm	
	Strip thickness	1.5 mm	
	Strip width	40 mm	
	Auger length (A)	3600 mm	
	Intake length (B)	340 mm	
	Transport angle (C)	10°	
	Maximum operating angle (D)	50°	
	Angle size (E)	114 mm	
	Reach at maximum height (F)	840 mm	
	Maximum lift height (G)	1800 mm	
	Transport height (H)	2270 mm	
	Eave clearance (J)	1300 mm	
	Discharge length (K)	3360 mm	
	Motor size	1 hp	745.7 W
	Auger rpm	500 rpm	Motor O.D. = 50 mm Auger pulley O.D. = 175 mm

여주고 있다.

性能試驗은 개량공간에 벼를 入庫하는 작업에 대하여 각각 3 반복씩 실시하였으며, 시료는 일반계 벼인 아키바레와 다수확계 벼인 칠성이 사용되었다. 그런데 시험농가의 형편상 다수확 계의 出庫試驗은 1 반복만 실시하였다.

性能試驗 結果는 Table 3, 4, 5와 같은데, 入庫性能은 다수확계 벼에 대하여 16.2 m³/h(8.3 ton/h)였고 일반계 벼에 대하여 13.0 m³/h(7.3 ton/h)였으며,

出庫性能은 각각에 대하여 16.0 m³/h(8.2 ton/h)와 12.6 m³/h(7.0 ton/h)였다.

그리고 개발된 移送裝置의 性能을 人力에 의한 作業能率과 Table 6과 같이 비교하였는데, 개량공간에 대한 벼의 移送能率은 移送方法과 벼의 종류에 따라 다르게 나타났다.

入庫作業의 경우, 移送裝置의 性能이 人力作業보다 2.5~2.7배 우수했으며, 出庫作業의 경우에는 4.7~5.5배 우수하였다. 그러므로 개발된 시스템은

Table 3. Loading performance of the mechanized grain handling system developed for Indica-type rough rice

Replication	Sample weight (kg)	Loading time (sec)	Performance		Remark
			ton / h	m ³ / h	
1	500	220	8.2	16.0	Moisture content : 24% (w.b.) Bulk density : 510.8 kg/m ³ Operating angle : 40°
2	500	216	8.3	16.3	
3	500	218	8.3	16.2	
Ave.	500	218	8.3	16.2	

Table 4. Loading performance of the mechanized grain handling system developed for Japonica-type rough rice

Replication	Sample weight (kg)	Loading time (sec)	Performance		Remark
			ton / h	m ³ / h	
1	500	244	7.4	13.1	Moisture content : 24% (w.b.) Bulk density : 562.3 kg/m ³ Operating angle : 40°
2	500	248	7.3	12.9	
3	500	249	7.2	12.9	
Ave.	500	247	7.3	13.0	

Table 5. Unloading performance of the mechanized grain handling system developed for Japonica-type rough rice

Replication	Sample weight (kg)	Unloading time (sec)	Performance		Remark
			ton / h	m ³ / h	
1	500	256	7.0	12.6	Moisture content : 15.7% (w.b.) Bulk density : 556.8 kg/m ³ Operating angle : 15°
2	500	252	7.1	12.8	
3	500	260	6.9	12.4	
Ave.	500	256	7.0	12.6	

Table 6. Performance comparison of rough rice handling system

unit: m³/h

Method Rice Handling	Mechanized handling		Manual handling	
	Indica-type	Japonica-type	Indica-type	Japonica-type
Loading	16.2	13.0	5.9	5.3
Unloading	16.0	12.0	2.9	2.7

Table 7. Comparison of the volumetric efficiency and power efficiency of the system with those of design requirement

Item	Content	Performance (A)	Design req't (B)	A/B (%)
	Volumetric efficiency	0.42 - 0.54	0.6	70 - 90
	Power efficiency	4.0 - 4.4	4.0	100 - 110

Table 8. System data for economical analysis

System		Mechanized handling	Manual handling
Item			
Loading	labor	1 man	2 men
	time	8.4 min/ton (4.6 min/m ³)	20 min/ton (11.3 min/m ³)
Unloading	labor	1 man	2 men
	time	8.6 min/ton (4.8 min/m ³)	40 min/ton (22.2 min/m ³)
Electric power		0.21 kWh/ton	0
Investment for system		₩ 320,000/unit	0
Labor cost 1)		₩ 1,200/h	
Electric cost 2)		₩ 25.48/kWh	

1) Monthly Report, NACF (1987. 11)

2) Information on Commodity Price (1983. 3)

Table 9. Results of break-even analysis of the mechanized rough rice handling system developed

Period (year)	1	2	3	4	5
Handling quantity (ton)	38.6	19.3	12.9	9.7	7.7

入庫作業보다 出庫作業에 더 機械化의 효과가 큰 것으로 나타났다.

3톤 규모의 개량곳간에 대해서 분석해 보면, 1인의 作動에 의한 移送裝置의 入庫作業이 20分, 出庫作業이 30分을 요하였는데, 2인의 人力作業의 경우 入庫作業이 60分을, 出庫作業이 120分을 요하였다.

한편, 개발된 移送裝置의 設計條件의 達成與否를 평가하기 위하여 Table 7과 같이 Volumetric efficiency와 Power efficiency를 分析하였으며 분석결과에 의하면 Power efficiency는 설계조건을 달성하였으나 Volumetric efficiency는 70~90%의 달성을 나타내 앞으로 Volumetric efficiency가 설계조건에 도달될 수 있도록 移送裝置의 改善設計에 대하여 계속해서 연구할 필요가 있겠다.

나. 經濟性 分析

개발된 移送裝置의 經濟的 米穀移送量을 결정하고자 損益分枝點分析을 실시하였으며 여기에 사용된 시스템資料는 Table 8과 같다. 또한 分析結果에 의하면 損益分枝點의 米穀移送量은 약 38.6ton(68.7m³)이었으며 이에 대한 결과는 Table 9와 같다.

沈⁸⁾에 의하면 개량곳간의 소유농가의 약 60%가 年平均 4~8ton의 벼를 생산하고 있어 대부분의 소유농가는 개발된 機械化 米穀 移送시스템에 대한 初期投資費用을 5年内에 回收할 수 있을 것으로 期待된다.

5. 結 論

韓國科學技術院(KAIST)에서 개발하여 보급한 개량곳간에 散物로 乾燥 및 貯藏되는 벼의 入出庫 및 移送를 機械化 할 수 있는 裝置로서 移動式 오거와 쪽문을 개발하여 性能試驗을 실시하였으며, 연구결과로부터 다음과 같은 結論을 유도할 수 있다.

1) 개발된 移送裝置는 設計條件을 상당한 수준까지 充足하는 것으로 나타났다.

2) 개발된 米穀移送시스템의 入庫性能은 다수확제 벼에 대하여 16.2m³/h(8.3ton/h), 일반제 벼에 대하여 13.0m³/h(7.3ton/h)였으며, 人力作業에 비하여 2.5~2.7배의 높은 性能을 나타냈다.

3) 벼 出庫性能은 다수확제의 벼에 대하여 16.0

m³/h(8.2ton/h), 일반제 벼에 대하여 12.6m³/h(7.0ton/h)였으며, 人力作業에 비하여 4.7~5.5배의 높은 性能을 나타냈다.

4) 3톤 규모의 개량곳간에 대하여 作業性能을 비교하면, 1인 작동에 의한 移送裝置는 入庫와 出庫에 각각 20分과 30分을 요하였으며, 2인의 勞動力에 의하면 入庫와 出庫에 각각 60分과 120分이 소요되었다.

5) 개발된 裝置의 Volumetric efficiency는 0.42~0.54였고, Power efficiency는 4.0~4.4였다.

6) 개발된 裝置의 損益分枝點의 벼 移送量은 약 38.6ton(68.7m³)으로 분석되었으며, 이 경우에 시스템에 대한 初期投資費用은 5年内에 回收가 가능한 것으로 나타났다.

謝 辭

개발된 벼 移送裝置의 製作에 협조에 주신 金進泳 과장, 現場性能試驗을 위한 개량곳간과 시료를 협조해 주신 대덕실업주식회사의 韓陽洙 대표이사, 연구의 성공적 수행을 위해 간접지원을 아끼지 않으신 한국과학기술원의 權泰完 博士, 申明坤 博士께 심심한 감사를 드립니다.

參 考 文 獻

1. 김만수, 고헌균. 1981. 곡물의 물리적 특성에 관한 연구. 한국농업기계학회지6(1): 73~82.
2. 김기선, 신명근, 김동철, 임종환, 최홍식, W. 물바우어, 권태완. 1987. 개량곳간을 이용한 벼의 상온통풍건조. 한국농업기계학회지 12(3): 50~56.
3. 농협중앙회. 1987. 월간보고.
4. 물가자료협회. 1988. 월간물가자료 3월호.
5. 심영근. 1984. 개량곳간 이용에 따르는 효과분석. 연구보고서. 한국과학기술원.
6. 張東日. 1987. 미곡의 산물유통을 위한 모델시스템 연구. 한국농업기계학회지 12(2): 44~49.
7. 최홍식. 1985. 우리나라 미곡유통의 산물화방안과 관련기술. 한·독세미나 미곡유통현황과 개선방향. 한국과학기술원.

8. 최홍식, 김기선, 신명근, 권태완. 1985. A system for small-scale farm drying and storage of paddy in Korea. Proceedings of an International Seminar for preserving Grain Quality by Aeration and In-store Drying. Kuala Lumpur, Malaysia, Oct. 1985 : 200~205.
9. 한국과학기술원. 1984. 농가용 개량곳간의 설치 및 운영관리지침.
10. 한국과학기술원. 1987. 미곡의 종합처리 가공 기술 개발에 관한 연구.
11. 한국농촌경제연구원. 1986. 정부양곡관리제도 개선에 관한 연구. 연구보고서 C-86-2.
12. ASAE, 1984. Auger flighting design consideration. ASAE Engineering Practice: EP389, Agricultural Engineers Yearbook of STANDARDS.
13. ASAE. 1984. Terminology and specification definitions for agricultural auger conveying equipment. ASAE Standard: ASAE S374, Agricultural Engineers Yearbook of STANDARDS.
14. Bouse, L.F., L.G. Schoenleber and J.G. Porterfield. 1964. Screw conveyor capacity and castor seed damage. Transactions of ASAE 7(2): 152-156, 158.
15. Brusewitz, G.H. and S.P.E. Persson. 1969. Parametric study of factors influencing screw-conveyor throughput and power requirement. Transactions of the ASAE 12(1): 51-54, 59.
16. Chhabra, R.L., L.F. Charity and L.H. Soderholm. 1972. Torque-speed characteristics of an accelerating grain auger. Transactions of the ASAE 15(1): 177-179.
17. Gilmore & Tatge Mfg. Co., Inc. 1980. Conveying Systems. Sales and Product Handbook.
18. Rademacher, F.J.C. 1981. On seed damage in grain augers. J. Agric. Engng Res. 26: 87-96.
19. Rehkugler, G.E. 1967. Screw conveyors—State of the art. Transactions of the ASAE 10(5): 615-618, 621.
20. Rehkugler, G.E. and L.L. Boyd. 1962. Dimensional analysis of auger conveyor operation. Transactions of the ASAE 5(1): 98-102.
21. Ross, I.J., G.M. White, O.J. Loewer, D.M. Wieman. 1981. Constant speed variable capacity screw conveyor. Transactions of the ASAE 24(2): 484-487.
22. Ross, I.J. and G.W. Isaacs. 1961. Capacity of enclosed screw conveyors handling granular materials (Part II). Transactions of the ASAE 4(1): 97-100, 124.