

以荷姆霍茲共振器為基礎的線上蔬果體積分級系統之研製

程安邦¹，范揚鳳²，陳致翰²，吳剛智³

¹國立宜蘭大學生物機電工程學系 教授

²國立宜蘭大學生物機電工程學系 研究生

³國立宜蘭大學生物機電工程學系 副教授

摘要

本研究乃利用聲學原理中的荷姆霍茲共振器研製一套線上蔬果體積分級系統。本系統為乾式、非接觸式的量測系統，除可用於蔬果的體積量測，也適用於其他不可浸水的物體。本系統的量測原理，是利用共振器在置入外物時，腔內氣體的共振頻率會因而改變，並依此特性推算置入物體積。本系統利用機械敲擊產生的衝擊響應訊號來激起共振器共振，並在時域中以奇異值分解法(Singular Value Decomposition, SVD)分析系統的共振頻率。本系統的敲擊機構是以三個固定角度差的凸輪與壓縮彈簧的撞針來製造三個固定時間差的衝擊訊號，並以奇異值分解法分析共振訊號的平均值來預測體積，以增加系統強健性。在輸送蔬果方面，因共振器的量測系統在非開口處必須保持氣密，故本研究以皮帶輪建構輸送系統，讓蔬果在量測過程受到輸送系統的影響降至最低。在分級的部分，本研究利用直線運動的氣壓缸與滑軌、平板結合，利用氣壓缸伸長時將平板推轉進而將移動中的蔬果導入收集槽中。本系統的分級水準，對於規則形蔬果(珍珠芭樂、富士蘋果)以及不規則形蔬果(紫心地瓜、釋迦)分四級的成功率皆可達85%以上，與現有分級機械的90%成功率相近，已接近實用標準。本系統的分級速度，最高為每分鐘35顆，尚有改善空間。

關鍵詞：荷姆霍茲共振器、體積分級機、奇異值分解法、衝擊響應。

一、前言

蔬果收穫後的分級處理是提高其經濟價值與推動優質化生產的重要手段，分級的方法則因蔬果種類而異(國立中興大學農業暨自然資源學院，2007)。傳統的分級方式多以物理量為分級依據，包括重量、體積與密度。隨著對品質要求的提升，蔬果分級的方法也愈來愈多樣與細緻化，例如以蔬果外觀的色澤、內部品質的糖度與堅實度等做為新的評量標準。這些利用影像、力學、光學等原理為基礎的新技術隨科技進步而逐漸成熟，也開始有商品化的產品在市面上出現(陳，2005)。然而，以物理量為分級依據的自動化機械仍然有其需求，原因包括(1)原理簡單，與人們日常生活的經驗相符，容易被理解與接受；(2)造價相對比較低廉；(3)分級需求僅只於此(例如有利於包裝即可)。當然，如果結合重量與體積的資訊就可以計算出密度。已有學者研究發現有些蔬果的品質與密度呈現正相關，例如奇異果的糖度與密度呈正比例關係(Ohnishi *et al.*, 2008)，此物理量資訊也可以作為內部品質的參考。

國內學者投入重量分級機械的研究已有很長一段時間，發展也已經很成熟，主要可分為機械式砝碼與電子式荷重元兩種，也有多家廠商生產各式分級機械(農糧署，2009)。然而，體積與密度的自動化分級系統的發展仍未有關鍵性的突破。目前體積分級機械以篩孔式、

圓盤式與滾軸式最為常見，分級原理也大致相同，主要是利用蔬果粒徑或軸徑的大小進行選別，常用於球形與長軸形蔬果的分級作業。這是因為蔬果粒徑大致與體積成正比的關係，若幾何為不規則形的蔬果就難以適用，因此在使用上仍然受限。此外，雖然也有研究者利用光學的遮罩時間長短、遮罩量與或影像的投影面積估算體積，但這些方法在不對稱或是表面凹陷的蔬果量測上會造成很大的誤差，應用層面也很有限。另一方面，若要直接量測蔬果的密度並加以分級顯然又更是困難，密度分級機械的發展則尚未萌芽。

現今重量量測與分級的技術已經相當成熟，而體積與密度的自動化分級系統因受限於線上量測的諸多瓶頸而不易突破，量測精度與通用性仍有改善與拓廣的空間。現有的體積分級機械多以機械的方法同時進行量測與分級作業，這樣的方式看似便利，實際上蔬果卻有可能在過程中受到擠壓而損傷。就體積量測的方法而言，目前以排水法(displacement method)最為普遍，但缺點是(1)待測物必須浸水，不利後續處理；(2)水會晃動，不利測量；(3)進出水面的機構不易設計。另一方面，如果由密度與重量反向推導體積顯然又更加困難，以體積為分級標準的自動化機械仍然付諸闕如。若能開發乾式的體積量測法，將可以大大改善以大小為分級標準的便利性及機械精度，並提供生產者與消費者新的客觀評量標準。

近年國外陸續有學者利用聲學原理中的荷姆霍茲共振器(Helmholtz resonator)為工具發展體積量測系統(Nishizu and Ikeda, 1997; Nishizu *et al.*, 2001; Webster and Davies, 2010)，也都有相當不錯的成果。這一套新發展的體積量測工具有許多優點，諸如(1)屬於乾式、非接觸式的體積量測系統；(2)通用性高，可量測各種形狀物體的體積；(3)原理簡單，與人們日常生活習慣相近，有利於推廣普及。綜述這些優點，恰好是現今體積分級機械所欠缺的要素，因而啟發本研究的動機。本研究期能利用荷姆霍茲共振器發展一套自動化的線上體積分級系統，以突破目前機械式的體積分級方式，提高體積量測的便利性及精度。

二、材料與方法

以個人電腦(華碩，ASUS F3J)搭配多功能資料擷取卡(NI，NI USB - 6211)控制機電系統的數位訊號輸出(Digital Output, DO)，以及擷取自麥克風(俊驊，EM 070)接收的類比訊號輸入(Analog Input, AI)資料。本系統利用凸輪、彈簧與撞針組成的三連發敲擊機構做為激振的方法，並在時域上以奇異值分解法(Singular Value Decomposition, SVD)分析共振器的共振頻率，並藉此反算待測物的體積。最後利用直線運動氣壓缸(CHELIC，SDA20/050)結合門栓檔板以導向的方式將蔬果導入收集槽中。

三、結果

本研究所自行研製的體積分級系統照片如圖 1 所示，包括輸送帶、共振腔、敲擊機構、分級撥桿機構、收集槽、控制用電腦、NI 資料擷取卡等。

重要組件特色與實驗之結果分述如下

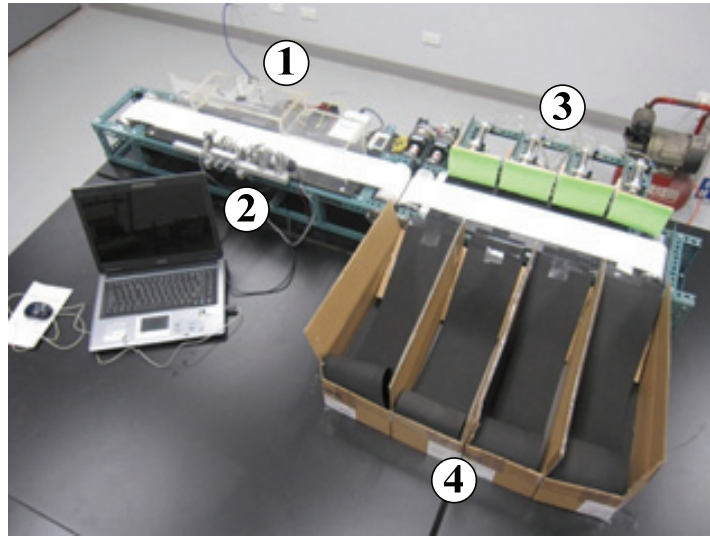
(一)激振系統—往復式凸輪敲擊機構

敲擊機構主要是由一只直流馬達結合其驅動軸上的三組凸輪與撞針所構成。每組凸輪為兩兩成對且各自相差 30 度，每組凸輪後方皆搭配一只壓縮式彈簧的撞針。這樣的設計是為了使敲擊機構能夠對共振器的三次撞擊造成時間差，並以三次敲擊訊號分析的結果

估算體積。由三組連動但有角度差(可造成敲擊時間差)的凸輪帶動往復式敲擊鏈的平面機構組成，並以同一顆馬達驅動。

(二)分級系統—分級撥桿

本系統的分級作業是利用撥桿改變蔬果行進的方向，將蔬果依級別各自導入其收集槽中，其動作解說見於圖 2。分級撥桿機構主要是由直線氣壓缸與結合滑軌的擋板所組成。擋板以門栓做為樞紐固定於機架上，滑軌銜接氣壓缸頭前端。當氣壓缸推出，擋板即向外翻轉 45 度，可將輸送帶上行進的蔬果導入收集槽中。本系統共有四組撥桿，依序安裝於後端輸送帶側邊，最多可將蔬果區分為五級，第五級為不列入分級者，由輸送帶直接送出。



分析部：	① 三口共振腔	② 敲擊機構
分級部：	③ 分級撥桿機構	④ 收集槽

圖 1 線上體積分級系統照片

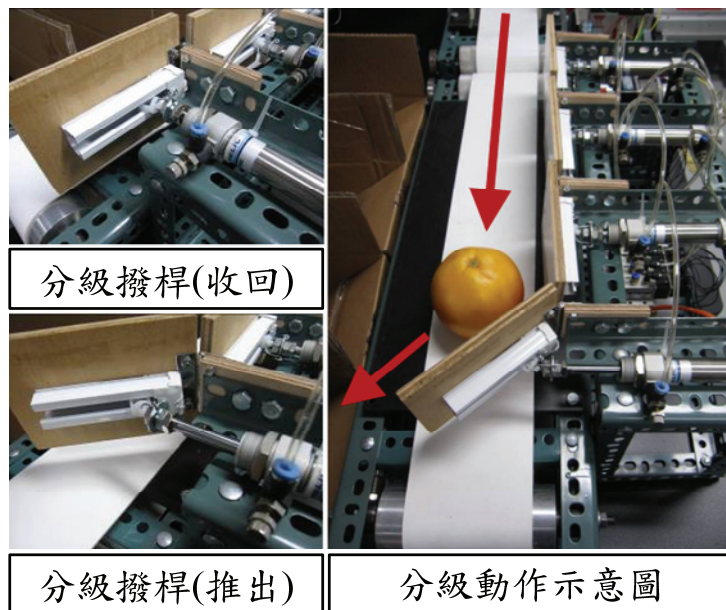


圖 2 分級撥桿的動作解說圖

(三)實驗資料分析

本體積分級系統建構完成後，分別以珍珠芭樂、富士蘋果、紫心地瓜、鳳梨釋迦為實驗對象，並以排水法所得到的體積為準，驗證四種水果的分級成功率。首先是珍珠芭樂，以 150cc 為分段標準，三等級五重複的實驗結果如表 1，平均成功率為 93.33%。接著為富士蘋果，區分為二、三、四等級，三重複的體積分級結果如表 2。由該表中可知四等級的平均成功率最低，但也達到 86%。紫心地瓜為不規則與表面凹凸的代表性水果，其在三重複、不同等級的實驗結果分別列於表 3。即便紫心地瓜三分級的成功率最低，也達到 84.8%。

表 1 珍珠芭樂的五重複分級實驗結果

實驗樣本 分級速度(顆/分)	珍珠芭樂(15 顆)					平均值
	25					
	一重複	二重複	三重複	四重複	五重複	
平均誤差(%)	-0.92	1.05	-0.35	-0.03	-0.25	-0.52
標準差(%)	8.68	7.76	7.86	9.99	8.97	8.65
分級成功率	86.67	100	100	93.33	86.67	93.33

表 2 富士蘋果在 25 顆/分速度下的三重複體積分級結果

實驗樣本 分級速度(顆/分)	富士蘋果(100 顆)				平均值
	25				
	一重複	二重複	三重複		
平均誤差(%)	1.05	-0.16	0.13		0.34
標準差(%)	10.72	5.95	6.12		7.6
兩級成功率(%)	92	98	97		95.67
三級成功率(%)	81	90	91		87.33
四級成功率(%)	76	90	92		86

表 3 紫心地瓜的三重複體積分級結果

實驗樣本 分級速度(顆/分)	紫心地瓜 (36 顆)			
	25			
	一重複	二重複	三重複	平均值(%)
平均誤差(%)	0.93	0.93	2.13	1.33
標準差(%)	12.08	13.08	11.96	12.37
兩級成功率(%)	94.44	88.89	86.11	89.81
三級成功率(%)	86.11	80.56	86.11	84.82
四級成功率(%)	94.44	88.89	86.11	89.81

四、討論

本研究利用荷姆霍茲共振器原理所完成的體積分級系統具有以下特色：

- (1) 屬於乾式的體積分級系統，除農產品外，也適用於其他不可浸水的待測物。
- (2) 體積量測過程屬於非接觸式，可避免造成不必要的損傷。
- (3) 相較於早期研究者使用喇叭激振的頻域掃頻法，本研究以機械敲擊造成的衝擊響應並利用 SVD 法在時域解析系統的共振頻率，能夠大大縮短量測的時程。
- (4) 本研究的分級撥桿使用直線氣壓缸結合滑軌與平板，以推轉平板來改變蔬果行進方向的方式來分級。
- (5) 本研究的敲擊機構利用三個固定角度差的凸輪與壓縮彈簧的撞針製造三個固定時間差的衝擊訊號，並以分析共振訊號的平均值來預測體積，有助於增加系統強健性
- (6) 本系統的架構簡單，製作成本低。
- (7) 通用性高，針對粒狀蔬果可一體適用。
- (8) 量測與分級結果數據化，可進一步製作生產履歷，提升產銷品質。

在工作效能方面，本系統的分級成功率在分為四級的情況下，分級成功率可達 85% 以上，已接近實用標準；本系統分級速度，最高為每分鐘 35 顆，尚有改善空間。

參考文獻

1. 陳世銘，馮丁樹，洪慎德，吳春杰，呂昆忠，呂秉才。1996。柑橘類水果光電選別機之研製。農業機械學刊5(4)：33-46。
2. 國立中興大學農業暨自然資源學院。2007。蔬果品質分級標準暨包裝規格手冊。南投：行政院農業委員會農糧署。
3. Nishizu, T., and Y. Ikeda. 1997. Volume measuring system by acoustic method for agricultural products – development of field instruments for measuring volume. ISAMA. 275-280. Taipei, Taiwan.
4. Nishizu, T., Y. Ikeda, Y. Torikata, S. Manmoto, T. Umehara, and T. Mizukami. 2001. Automatic, continuous food volume measurement with a Helmholtz resonator. Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development. Manuscript FP 01 004. Vol. III.
5. Ohnishi, K., T. Nishizu, N. Kondo, K. Goto, S. Maezawa, K. Nakano and I. Nakanishi. 2008. A consideration on afterripening management of kiwifruits based on relation between fruit density and sugar content. ASABE paper No. 085226.
6. Webster, E. S. and C. E. Davies. 2010. The use of Helmholtz resonance for measuring the volume of liquids and solids. MDPI. Sensors 10(12): 10663-10672.

A Helmholtz-Resonator-Based On-line Volume Sorting System for Vegetables and Fruits

An-Pan Cherng¹, Yang-Huang Fan², Wen-Hang Chen², Gang-Jhy Wu³

¹ Professor, Department of Biomechatronic Engineering, National Ilan University

² Graduate Student, Department of Biomechatronic Engineering, National Ilan University

³ Associate Professor, Department of Biomechatronic Engineering, National Ilan University

Abstract

This research is aimed at developing a fruits as well as vegetables volume sorting system, which is based on a Helmholtz resonator. This system is a dry type and non-contact measurement system. In addition, it can be used to measure the volume of water-soaking-forbidden objects. The principle of Helmholtz resonator is based on the fact that its acoustic resonant frequency is a function of cavity volume. When an alien object is inserted into the cavity, the total air volume inside the cavity decreases. As a result, its acoustic resonant frequency increases. An automatic striking mechanism composed of three hammers was designed to induce the acoustic impulse responses, and a Singular Values Decomposition (SVD) algorithm was applied to extract these resonant frequencies consecutively. The averaged resonant frequency was then used as the measured resonant frequency. An air-sealed conveyor system was fabricated to transport each fruit for measuring its resonant frequency. For grading purposes, a mechanical-electrical system with air-cylinder, wood-slider, and a Programmable Logic Controller (PLC) was also integrated. The averaged successful rate of sorting fruits reaches 85% for both regular-shape fruits (guava and apple) and irregular-shape fruits (yam and custard apple), very close to the requirement of 90% successful rate for a commercial fruit grading system. The top speed of the developed system is 35 fruits per minute.

Keywords: Helmholtz resonator, Volume sorting machine, Singular value decomposition