การศึกษาเปรียบเทียบอุปกรณ์เชิงแสงสำหรับนับผลมะนาว

Comparative Study on Optical Devices for Lemon Fruit Counting

บัณฑิต จริโมภาส [1/] ณัฐชา เปี่ยมคล้า [2/] อุไร ธีรพิทยานนท์ [2/]

Bundit Jarimopas[1/] Nutcha Piumkla[2/] Urai Therapittayanont[2/]

ABSTRACT

This study was to compare the performance tested among optical devices for counting lemon fruits. Methodology was comprised of making up an electrical circuit to be capable of mounting 4 optical devices namely electric bulb with concaving lens (EL), laser emitting LED (LL), infrared emitting LED (reflectance type) (IL) and infrared emitting LED with fiber optic (IO). The aspect of the experiment was a) to determine the countability and counting accuracy, b) maximum clearance that a device could detect an object, and c) light dispersion. Result showed that i) the optical devices namely LL, IO, IL and EL could detect (count) lemon fruits accurately without errors at the rate of 4.3, 4.07, 4.15 and 4.16 fruits/second respectively, ii) LL could detect an object further than other devices (more than 200 cm) on the condition that light source and reciever have to be aligned, iii) within a distance of 8 cm between light source and the object, LL has no light dispersion (angle of light dispersion, θ = 0). Laser beam was straight with 0.2 cm in diameter and symmetrical to the centre line of light source. EL, IL and IO gave θ = 4.3, 5.7 and 20.6 degrees respectively.

Key words: optical device, lime, count

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เพื่อที่จะเปรียบเทียบการทำงานของอุปกรณ์เชิงแสงชนิดต่างๆ สำหรับการนับผลมะนาว วิธีการศึกษาประกอบด้วยการทำวงจรไฟฟ้าที่ประกอบด้วยอุปกรณ์เชิงแสง 4 ชนิด คือหลอดไฟที่มีเลนส์รวมแสง LED (light emitter diode) ที่ให้แสงเลเซอร์ LED และให้แสง infrared แบบสะท้อน LED ให้แสง infrared กับ fiber optics โดยมีประเด็นการทดลอง 3 เรื่อง คือ 1) การหาความแม่นยำและความสามารถในการนับผลมะนาว 2) การหาระยะห่างมากที่สุดที่อุปกรณ์เชิงแสงสามารถตรวจจับ

[1/] รองศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

[1/] Assoc. Prof., Faculty of Engineering, Kasetsart University, Kamphang Saen district, Nakhon Pathom province 73140

[2/] นักศึกษาปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

[2/] Gruduate student, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Kamphang Saen district, Nakhon Pathom province 73140

วัสดุได้ และ 3) การหาการกระเจิงของลำแสง ผลการทดลองพบว่า 1) LED เลเซอร์ LED infra-red แบบสะท้อน LED infrared กับ fiber optics และหลอดไฟที่มีเลนส์รวมแสง ผลการทดลองสามารถตรวจนับผลมะนาวได้ครบถ้วนไม่ผิดพลาดที่อัตรา 4.3 4.07 4.15 และ 4.26 ลูก/วินาที ตามลำดับ 2) LED เลเซอร์สามารถตรวจจับวัตถุได้ไกล 200 ซม. ไกลกว่า LED ตัวอื่นๆ โดยตั้งให้ตัวรับและตัวส่งแสงตรงกัน 3) ภายในระยะห่าง 8 ซม.ระหว่างวัตถุกับต้นกำเนิดแสง LED เลเซอร์ไม่มีการกระเจิงแสง (มุมกระเจิงแสง, θ = 0) ลำแสงเป็นเส้นตรงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.2 ซม. และสมมาตรรอบเส้นกึ่งกลางแนวกำเนิดแสง หลอดไฟที่มีเลนส์รวมแสง LED infrared แบบสะท้อน และ LED infrared กับ fiber optics ให้ θ = 4.3 5.7 และ 20.6 องศาตามลำดับ

คำหลัก: อุปกรณ์เชิงแสง นับ มะนาว

บทนำ

การนับผลิตผลเกษตรเป็นปัญหาที่สำคัญของเกษตรกร ซึ่งต้องใช้แรงงานมากพอสมควรเพื่อให้เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุดและผลิตผลเสียหายน้อยที่สุด ผู้นับจะต้องใช้ความสามารถเฉพาะตัวและมีสมาธิอย่างดีในการนับ ถ้าสิ่งที่จะนับมีจำนวนน้อยการนับอาจไม่เป็นปัญหา แต่ถ้าสิ่งที่จะนับมีจำนวนมากผู้นับย่อมเกิดความเมื่อยล้าทำให้นับพลาดง่าย เกิดความเสียหายต่อผู้ขายและผู้ซื้อทั้งสองฝ่าย ในปัจจุบันอุปกรณ์เชิงแสงมีการพัฒนามากและราคาไม่แพง การนำเอาอุปกรณ์ดังกล่าวมาประยุกต์ทำเป็นเครื่องนับผลผลิตเกษตร จึงเป็นการประหยัดเวลาและแรงงาน

การตรวจจับด้วยแสงเริ่มขึ้นประมาณ พ.ศ. 2493 ระบบตรวจจับด้วยแสงในยุคแรกประกอบด้วยหลอดไฟซนิดหลอดไส้ ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสง อุปกรณ์ที่ประกอบด้วยหลอดไฟโฟโตเซลล์ ติดเข้ากับเลนส์เฉพาะของตัวเองที่ระยะห่างเท่ากับระยะโฟกัสของเลนส์นั้น ช่วยให้ลำแสงที่ส่งไปจากหลอดไฟ สามารถตกลงบนพื้นที่ตรวจจับของโฟโตเซลล์ได้มากที่สุด ความต้านทานไฟฟ้าแปรตามการเปลี่ยนของระดับแสงที่ตกกระทบบนตัวโฟโตเซลล์ ทำให้โฟโต้เซลล์สามารถแยกความแตกต่างของการรับแสงที่ถูกส่งมา และสามารถตรวจจับอย่างแม่นยำมากขึ้น ปัญหาที่พบได้แก่ หลอดไส้จะมีอายุการใช้งานที่ไม่ยาวนานนัก ไม่สามารถทนต่ออุณหภูมิสูงจัดและการสั่นสะเทือนที่รุนแรง ความสามารถในการส่องสว่างที่ลดลงเมื่อผ่านการใช้งานไปช่วงเวลาหนึ่ง รวมไปถึงปัญหาอื่นๆจากการติดตั้ง การจะทำให้ระบบตรวจจับในยุคนั้นมีความแม่นยำมากพอจึงเป็นเรื่องที่ยุ่งยาก อย่างไรก็ตามปัญหาเหล่านี้ได้ถูกขจัดออกไปเมื่อไดโอดเปล่งแสงหรือหลอด LED ได้ถือกำเนิดขึ้นและถูกนำมาใช้งานราว พ.ศ. 2513 (นิรนาม, 2536 ; ฐิรพงษ์, 2544)

หลักการของการตรวจจับวัตถุด้วยแสงประกอบด้วยต้นกำเนิดแสงและตัวรับแสง ต้นกำเนิดแสงและตัวรับแสงจะต้องมีความยาวคลื่นที่สัมพันธ์กัน ความเข้มของแสงหรือกำลังงานมีผลโดยตรงต่อระดับของสัญญาณทางเอาต์พุต (output) ยิ่งเพิ่มระยะทางจะต้องเพิ่มกำลังงานของต้นกำเนิดแสง และการลดการกระเจิงของแสงจากต้นกำเนิด ซึ่งจะทำให้ลดทอนการสูญเสียกำลังงานของตัวรับได้เป็นอย่างดี

การลดการกระเจิงของแสงสามารถทำได้โดยการใช้เลนส์นูนทำให้ความเข้มของแสงมากขึ้น อุปกรณ์ตรวจจับส่วนมากมีตัวส่งแสงที่ทำมาจาก LED (light emitter diode) โดยสามารถเลือกให้ความยาวคลื่นแสงอยู่ในช่วงของเลเซอร์ หรืออินฟาเรดได้ตัวรับแสงทำมาจากโฟโต้ไดโอด หรือโฟโต้ทรานซิสเตอร์ (Figure 1) เมื่อมีวัตถุเคลื่อนที่ผ่านระหว่างตัวส่งแสงและตัวรับแสง ย่อมทำให้ลำแสงที่ตกกระทบที่ตัวรับเกิดการเปลี่ยนแปลง ยังผลในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในตัวรับเปลี่ยนไปด้วย ทำให้ได้สัญญาณทางเอาต์พุตเปลี่ยนไปเช่นกัน เมื่อนำสัญญาณอนาล็อก (analogue) ที่ได้จากเอาต์พุตของตัวรับแสงมาทำให้อยู่ในรูปลอจิกหรือสัญญาณดิจิตอล จะได้การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ ขึ้น-ลง อย่างชัดเจน (เจน, 2537 ; ยืน, 2534; ยืน, 2535)

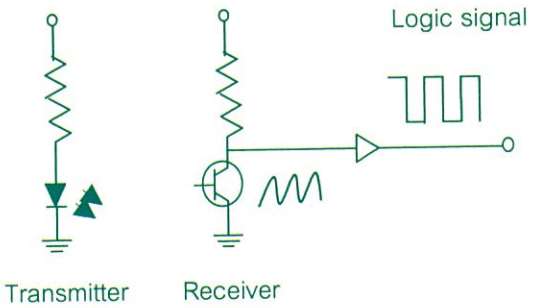

Figure 1. Logic signal generated out of electromagnetic radiation excitation

หลังจากได้สัญญาณทางเอาต์พุตที่เป็นลอจิก (logic) แล้วการประยุกต์ใช้งานคือการนำมาต่อเข้ากับวงจรนับ เพื่อทำงานนับวัตถุ (Figure 2)

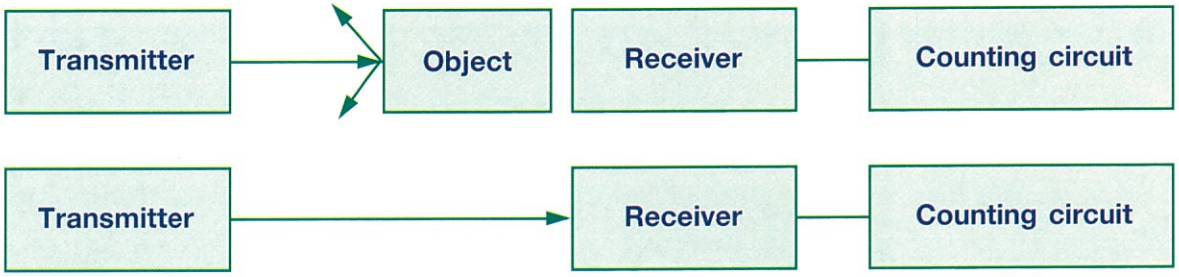

Figure 2. Block diagram showing mechanism of electronic counting circuit (if an object is passed the gap between the transmitter and the receiver, radiation from the transmitter is interrupted and unable to reach the receiver, thus, no logic signal is generated. Whenever the object leaves the gap and the radiation can reach the receiver, the digital signal is produced and the counting circuit counts zero).

บัณฑิตและเสกสรร (2544) ได้ทดสอบเครื่องนับมะนาวแบบ Electro Optical สร้างโดยคุณบุญส่ง ปานเจริญ ซึ่งใช้นับจำนวนผลมะนาวได้ต่อเนื่อง มีขนาดกว้าง 46 ซม. ยาว 110 ซม. และสูง 110 ซม. มีน้ำหนัก 30 กก. สามารถนับมะนาวได้ 25,000 ลูก/ชั่วโมง หรือ 6.9 ลูก/วินาที ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ 3 วัตต์ โดยใช้ผู้ปฏิบัติงานเพียง 1 คน ประกอบด้วย กระบะบรรจุมะนาวขนาด 50 x 70 x 30 ซม. ทำด้วยเหล็กฉาก รางบังคับทิศทางการเคลื่อนที่ของผลมะนาวทำด้วยท่อ PVC ขนาด 7.5 ซม. ชุดนับมะนาวซึ่งประกอบด้วยกล่องแปลงสัญญาณ และอุปกรณ์นับโดยมี

หน้าปัทม์แสดงตัวเลขแบบดิจิตอล 4 หลัก ใช้หลอดไฟที่มีเลนส์รวมแสงให้เป็นเส้นตรง นอกจากหลอดไฟที่มีเลนส์รวมแสงแล้ว ยังมีอุปกรณ์เชิงแสงอื่น ๆ ที่มีศักยภาพทางเศรษฐกิจ แต่ยังไม่เคยถูกนำมาทดสอบใช้งานนับทางการเกษตรเผยแพร่ให้รู้กัน

งานวิจัยนี้ดำเนินการเพื่อที่จะเปรียบเทียบการทำงานของอุปกรณ์เชิงแสงแบบต่างๆ ที่เหมาะสมและราคาไม่แพง ในการนำมาใช้ในเครื่องนับมะนาวที่เป็นแนวทางสำหรับนำไปประยุกต์ใช้นับผลไม้อื่น ๆ ระหว่างอุปกรณ์เชิงแสง 4 ชนิด คือ 1) หลอดไฟที่มีเลนส์รวมแสง 2) LED ที่ให้แสง Laser 3) LED ที่ให้แสง infrared แบบสะท้อน และ 4) LED กับ fiber optic ที่ให้แสง infrared ตัวแปรของการประเมินผลได้แก่ความแม่นยำในการนับ ความสามารถในการนับ ระยะห่างมากที่สุดที่สามารถตรวจสอบวัตถุพบ และการกระเจิงของลำแสง

อุปกรณ์และวิธีการ

การทดลองที่ 1 การหาความแม่นยำในการตรวจนับผลมะนาว

ติดตั้งตัวตรวจจับหรือนับโดยใช้อุปกรณ์ซึ่งเป็นหลอดไฟที่มีเลนส์รวมแสงของคุณบุญส่ง และวงจรนับผลมะนาว ผ่านตัวตรวจจับด้วยความเร็วคงที่ บันทึกจำนวนการนับและเวลาที่ใช้ของอุปกรณ์ ทดลอง 5 ซ้ำ โดยทำซ้ำกับอุปกรณ์เชิงแสงอื่น ๆ ได้แก่ LL IL และ IO (Figure 3)

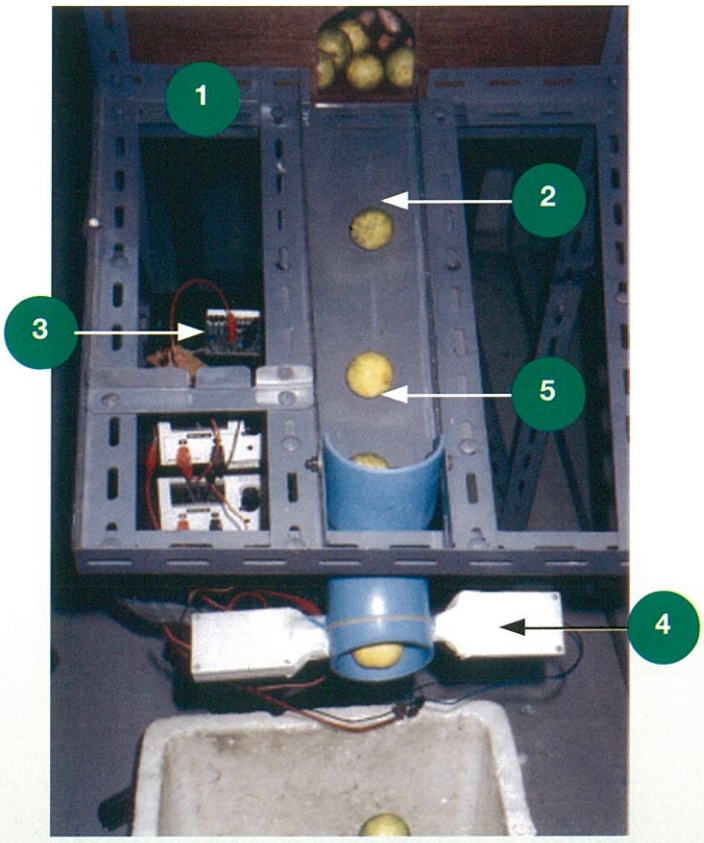

Figure 3. Lime counting machine 1) Hopper 2) PVC passage 3) counting circuit 4) electric bulb with convex lens 5) lime

การทดลองที่ 2 การหาระยะห่างมากที่สุดที่สามารถตรวจพบวัตถุ

ใช้อุปกรณ์ ซึ่งเป็นหลอดไฟของคุณบุญส่ง ปานน้อย โดยวางผลมะนาวระหว่างตัวรับและตัวส่ง ค่อย ๆ เคลื่อนตัวรับออกไปจนไม่สามารถตรวจจับวัตถุพบ บันทึกค่าระยะห่างที่ได้ลงในตารางบันทึกผล ทดลอง 5 ซ้ำ โดยทำซ้ำกับอุปกรณ์เชิงแสงอื่น ๆ ได้แก่ LL IL และ IO (Figure 4)

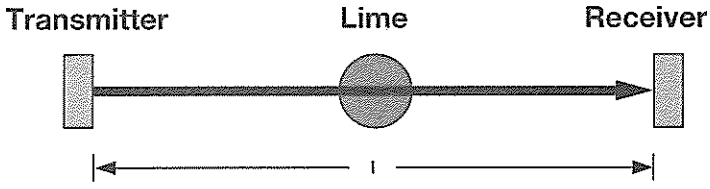

Figure 4. Experiment determining maximum distance (l) that the optical device was able to detect an object

การทดลองที่ 3 การหาการกระเจิงของลำแสง (θ)

ใช้อุปกรณ์ซึ่งเป็นหลอดไฟของคุณบุญส่ง ปานน้อย และฉากกันแสงวัดระยะ AB (ระยะแสงกระเจิงจากวัตถุ) และ AO (ระยะวัตถุห่างจากแหล่งกำเนิดแสง) ที่ระยะฉากต่างๆ (ระหว่าง 0-8 ซม.) ในแนวแกน x จำนวน 5 ซ้ำ/ระยะ วัดระยะทั้งซ้ายและขวาของแกน x โดยวัดเปรียบเทียบกับเส้น θ = 0 บันทึกผล นำค่าที่ได้มาหาค่ามุมการกระเจิงของแสง คำนวณค่าความผิดพลาดที่ระยะต่างๆ ทำการทดลองซ้ำกับอุปกรณ์เชิงแสงอื่น ๆ ได้แก่ LL, IL และ IO θ = tan-1 (AB/AO) (Figure 5)

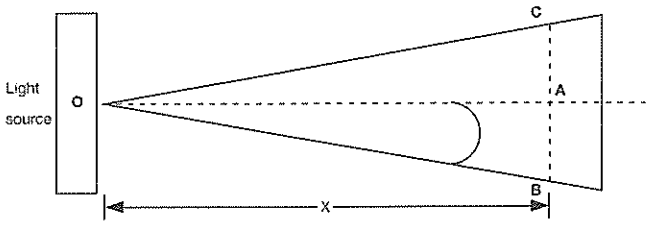

Figure 5. Angle of dispersion θ when the screen BC was away from the light source = x (AC = AB)

การทดลองที่ 4 การหาขนาดของวัตถุที่เล็กที่สุดที่เคลื่อนที่ผ่านลำแสง

ใช้อุปกรณ์ซึ่งเป็นหลอดไฟของคุณบุญส่ง วางฉากกั้นแสงที่ระยะห่างจากแหล่งกำเนิด 0.5, 2.2 และ 8.7 ซม. วัดความกว้างของลำแสงปรากฏบนฉากในแนวตั้งฉากกับแกน X จำนวน 5 ซ้ำ/ระยะ (ระยะ BC Table 5) ทำการทดลองซ้ำกับอุปกรณ์เชิงแสงอื่น ๆ ได้แก่ LL, IL และ IO

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการนับมะนาวโดยใช้อุปกรณ์เชิงแสง 4 ชนิด (Table 1) พบว่าอุปกรณ์และวงจรสามารถนับมะนาวได้ครบถ้วนเท่ากัน (500 ลูก) และมีอัตราการนับสำหรับ LL, IO, IL และหลอดไฟที่ไม่แตกต่างกัน เป็น 4.3, 4.07, 4.15, 4.26 ลูก/วินาทีตามลำดับซึ่ง LL สามารถนับได้เร็วที่สุด

อุปกรณ์เชิงแสง แต่ละชนิดที่ให้ระยะห่างระหว่างตัวรับและตัวส่งแตกต่างกัน โดย LL สามารถตรวจจับวัตถุได้ไกลที่สุดคือ 200 ซม. แต่ต้องให้ตัวรับและตัวส่งตรงกัน IL วัดได้ไกลรองลงมา คือระยะ 152 ซม. IO สามารถวัดได้น้อยที่สุด คือที่ระยะห่าง 8.52 ซม. หลอดไฟวัดได้ดีกว่า

Table 1. Countability of lime with various optical devices by means of ANOVA at 5% significance level

Optical devices	Counting rate (fruits/second)	Coefficient of variation (CV) %
Laser emitting LED	4.29	6.86
Infrared emitting LED with fiber optic	4.07	4.70
Infrared emitting LED	4.15	6.30
Electric bulb with convex len	4.26	8.91
	NS	

NS = non significant

Table 2. Statistics of maximum clearance between transmitter and receiver that the object could be detected

Optical devices	Average maximum clearance (cm)	Cofficient of variation (CV,%)
Laser emitting LED (LL)	200	0
Infrared emitting LED with fiber optic (IO)	8.52	0.53
Infrared emitting LED (IL)	152	0.47
Electric bulb with convex len (EL)	20.3	2.81

LED = light emitter diode

IO คือประมาณ 20.3 ซม. ถ้าไม่มีแสงรบกวน แต่ถ้ามีแสงรบกวนจากภายนอกจะตรวจจับวัตถุไม่ได้เลย (Table 2)

ผลการวิเคราะห์ LSD ว่าอุปกรณ์เซิงแสงและระยะห่างของวัตถุจากแหล่งกำเนิดแสงมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อความกว้างของวัตถุที่เล็กที่สุด ที่เคลื่อนที่ผ่านลำแสงของอุปกรณ์ ที่ระดับความสำคัญ 5% (Tables 3 and 4)

LL, IO และ EL จะสามารถตรวจนับวัตถุเป็นหนึ่งชิ้นเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ผ่านสมบูรณ์ทั้งชิ้น โดย LL สามารถตรวจจับวัตถุได้ขนาดเล็กสุดสม่ำเสมอ เส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 2 มม.ขึ้นไป สำหรับระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแสงระหว่าง 0.5-8 ซม. อุปกรณ์เซิงแสงตัวอื่นที่สามารถตรวจจับวัตถุได้ขนาดเล็กรองลงมาคือ หลอดไฟธรรมดาที่ปลายมีเลนส์นูนรวมแสง สำหรับ IL และ IO ยกเว้นที่ระยะห่าง 0.5 ซม. ระหว่างวัตถุและแหล่งกำเนิดแสง หลอดไฟรวมแสง และ infrared LED สามารถตรวจจับวัตถุได้เล็กที่สุดคือ 0.1 ซม. (Table 5) อย่างไรก็ตาม ลักษณะการวางตัวของวัตถุที่เคลื่อนที่ตัดลำแสงจนว่าทำให้เกิดการนับได้ โดยปกติแล้วหลอดไฟธรรมดาจะมีลักษณะการกระจายแสงเหมือนหลอด infrared LED แต่ที่ใช้ทำเครื่องนับมะนาวใช้หลอดไฟที่มีเลนส์รวมแสงอยู่ตรงส่วนปลายสุดทำให้เกิดการรวมแสงเป็นเส้นตรงขนาดเล็กที่มีความเข้มแสงมากและส่องไปได้ไกล จึงไม่มีความผิดพลาดในการตรวจจับ (Figure 6)

Table 3. LSD analysis of optical devices influence upon object width

Optical Device			
LL	IO	IL	EL
0.200d	2.433a	0.633b	0.503c

In a row, mean, followed by the same letter are not siginificanty different at 5%

LL = Laser emitting LED IL = Infrared emitting LED

IO = Infrared emitting LED with fiber optic EL = Electric bulb with convex len

Table 4. LSD analysis of light source-object distance effect on object width

Light source-object distance (cm)		
0.5	2.2	8
0.150c	0.825b	1.852a

In a row, mean followed by the same letter are not siginificanty different at 5%

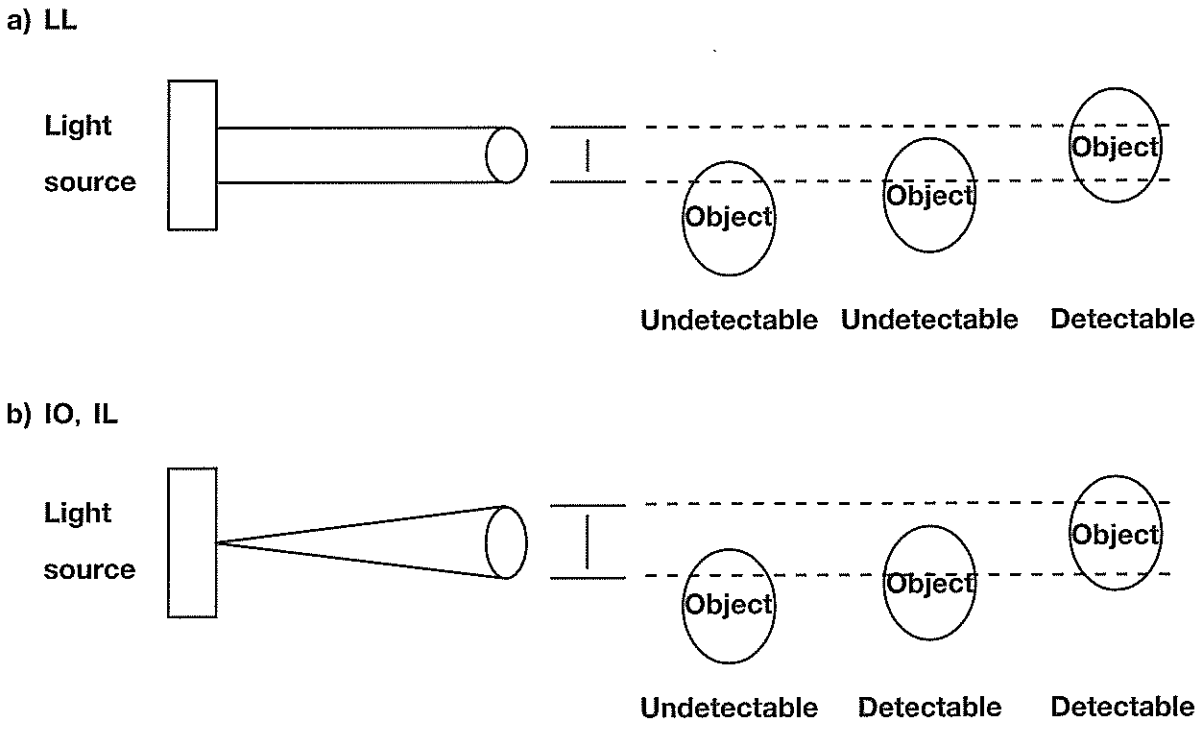

Figure 6. Detectable object arrangement

Table 5. The smallest width of the detectable object moving across the radiation

Light-source distance (cm)	Optical devices	The smallest width (cm)
0.5	LL	0.2
	IO	0.2
	IL	0.1
	EL	0.1
2.2	LL	0.2
	IO	2.4
	IL	0.5
	EL	0.2
8	LL	0.2
	IO	4.7
	IL	1.3
	EL	1.2
CV (%)		4.1

LL = Laser emitting LED
IL = Infrared emitting LED
IO = Infrared emitting LED with fiber optic
EL = Electric bulb with convex len

การวิเคราะห์การกระเจิงแสงของเซนเซอร์ต่างๆ พบว่าสำหรับระยะห่างระหว่างวัตถุและแหล่งกำเนิดแสงที่ระยะ 8 ซม. LL มีมุมกระเจิงเท่ากับ 0 คือไม่มีการกระเจิงแสง LL ให้ลำแสงเป็นเส้นตรงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางคงที่ 0.2 ซม. และเป็นสมมาตรรอบเส้นกึ่งกลางแนวกำเนิดแสง สำหรับหลอดไฟติดเลนส์รวมแสง IL และ IO การกระเจิงแสงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะห่างจากแหล่งกำเนิดเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่คงที่ ๆ ระยะ 8 ซม. มุมกระเจิงของ หลอดไฟ IL และ IO เป็น 4.3, 5.7 และ 20.6 องศาตามลำดับ (Table 6)

Table 6. Average angle of dispersion at the light-source object distance = 8 cm

Optical devious	Dispersion angle (degree)
Laser emitting LED (LL)	0
Infrared emitting LED with fiber optic (IO)	20.56
Infrared emitting LED (IL)	5.71
Electric bulb with convex len (EL)	4.29
CV (%)	0

สรุปผลการทดลอง

การส่งแสงโดยใช้แสงไฟจากหลอดกำเนิดแสงแบบธรรมดา จะถูกรบกวนด้วยแสงจากธรรมชาติได้ง่าย แต่ก็มีปัญหาในเรื่องของระยะทางในการส่งและรับ เนื่องจากมีกำลังส่งที่น้อยและมีการกระเจิงแสงมาก ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการส่งแสงในระยะทางที่ไกลออกไป การกระเจิงของแสงสร้างปัญหาต่อตำแหน่งของการตรวจจับ เช่น ตรวจจับวัตถุได้ก่อนที่จะถึงตัวรับ หรือเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ผ่านตัวรับไปแล้วก็ยังคงตรวจจับได้อยู่ ซึ่งการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการทำให้แสงมีขนาดเล็กเป็นลำ ซึ่งอาจทำได้โดยใช้หลักการของไฟเบอร์ออฟติก เมื่อใช้การแก้ปัญหาหลากหลายด้านมารวมกัน ย่อมทำให้ได้ตัวส่งและรับที่มีคุณภาพดี ในระดับราคาที่ค่อนข้างสูง แต่ระยะทางที่ได้ก็ยังไม่ไกลมาก ตัวส่งแสงแบบเลเซอร์สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้โดยมีการส่งแสงที่ค่อนข้างเป็นระเบียบ มีการกระเจิงน้อย ทำให้แสงมีอนุภาคทีมีความเข้มสูงเป็นลำ จึงทำให้เพิ่มระยะทางในการส่งแสงออกไปได้ไกลและค่อนข้างเป็นเส้นตรง

ลำแสงที่ใช้ในการตรวจจับวัตถุที่ระยะใกล้ภายในท่อของเครื่องนับมะนาวมีประสิทธิภาพการตรวจจับใกล้เคียงกัน ดังนั้นการเลือกใช้แสงในการตรวจจับการเคลื่อนที่ของมะนาวจึงขึ้นอยู่กับข้อจำกัดของแสงแต่ละชนิด เช่น การกระเจิงของแสง ระยะใกล้ไกลที่สามารถตรวจจับได้ ราคาของตัวรับและตัวส่งของแสงแต่ละชนิด เป็นต้น

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักผลไม้ (ADB) ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ ที่กรุณาให้การสนับสนุนทุนวิจัย

เอกสารอ้างอิง

เจน สงสมพันธุ์. 2537. เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ 1. สถาบันอิเล็กทรอนิกส์กรุงเทพฯ พิมพ์ครั้งที่ 11. 272 หน้า.

ฐิรพงษ์ นามแถ่ง. 2544. พื้นฐานการใช้โฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์ในงานอุตสาหกรรม. อิเล็กทรอนิกส์ เซมิคอนดักเตอร์ *อิเล็กทรอนิกส์* 226 : 234-266.

บัณฑิต จริโมภาส และเสกสรร สีหวงษ์. 2544. เครื่องนับมะนาวไฮเทคผลิตโดยเกษตรกรชาวสวนมะนาวนครปฐม. *ข่าวสารศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ* 14(3) : 6-8.

นิรนาม. 2536. อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานสำหรับช่างเทคนิค. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). บริษัทดัลเลอร์สโตร์ จำกัด กรุงเทพ ฯ. 330 หน้า.

ยืน ภู่วรวรรณ. 2534. อิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม. เอช-เอนการพิมพ์, กรุงเทพฯ. 277 หน้า.

ยืน ภู่วรวรรณ. 2535. ทฤษฎีการใช้งานอิเล็กทรอนิกส์. บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่นจำกัด กรุงเทพฯ. 304 หน้า.