

บทที่ 4

การบูรณะสถานะแวดล้อมสามมิติ ด้วยตัวตรวจรู้แบบเลนส์ - กระจกและการไหลเชิงแสง

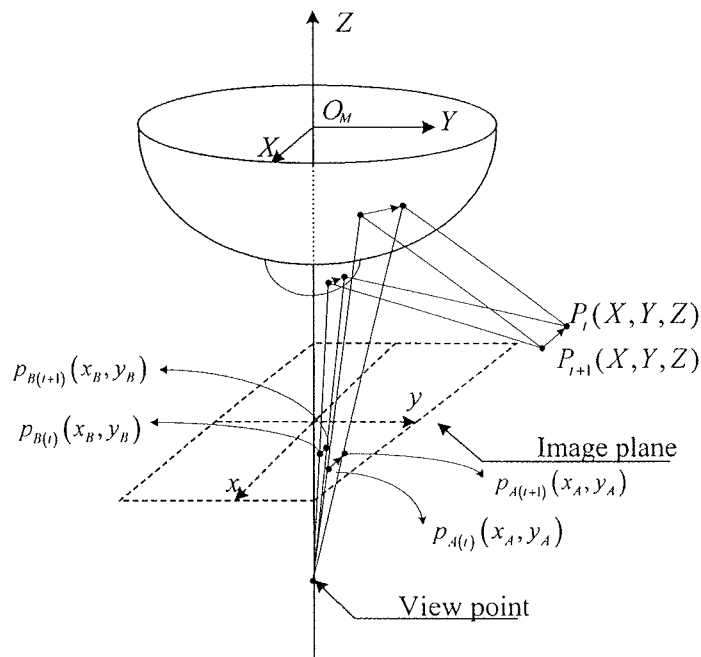


4.1 บทนำ

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการใช้ตัวตรวจรู้แบบเลนส์ - กระจกพร้อมกับกระบวนการไหลเชิงแสงซึ่งจากบทที่ 3 นั้นการใช้ตัวตรวจรู้แบบเลนส์ - กระจกจะสามารถคำนวณจุดในพิกัดสามมิติได้แต่ในการบูรณะสถานะแวดล้อมสามมิติ นั้นจำเป็นจะต้องใช้วิธีการอื่นร่วมด้วยซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการไหลเชิงแสง ซึ่งทำให้สามารถทราบถึงโครงสร้างและทิศทางของวัตถุที่เคลื่อนที่ได้

4.2 การไหลของแสง (Optical flow)

จากทฤษฎีการไหลเชิงแสงเมื่อนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับตัวตรวจรู้แบบเลนส์ - กระจกสามารถเขียนแบบจำลองได้ดังรูปที่ 4.1



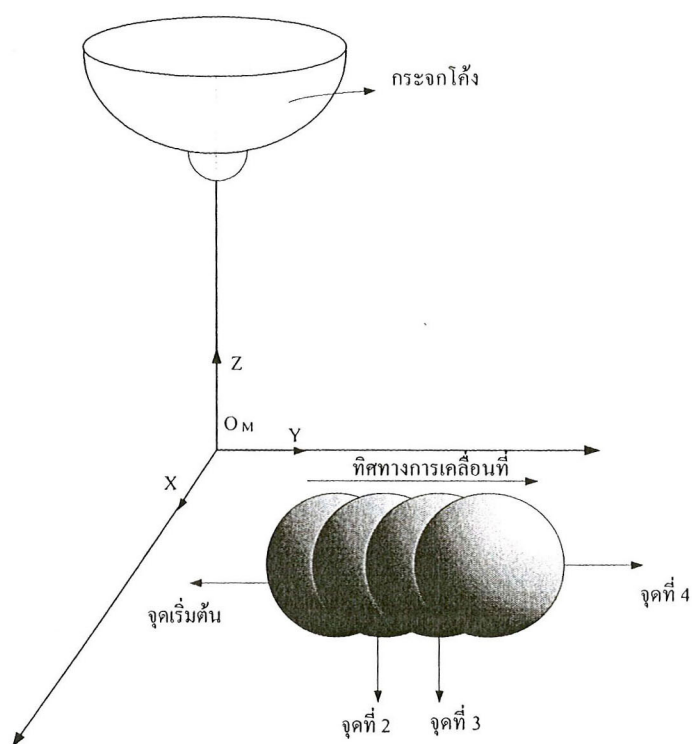
รูปที่ 4.1 โครงสร้างการคำนวณการไหลเชิงแสงแบบสามมิติ

จากรูปที่ 4.1 เมื่อวัตถุอยู่ที่ตำแหน่ง $P_t(X, Y, Z)$ ภาพที่ได้จะสะท้อนผ่านกระจกโค้ง A และกระจกโค้ง B ไปสู่ระนาบของภาพที่ตำแหน่ง $p_{A(t)}(x_A, y_A)$ และ $p_{B(t)}(x_B, y_B)$ ซึ่งเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่ง $P_{t+1}(X, Y, Z)$

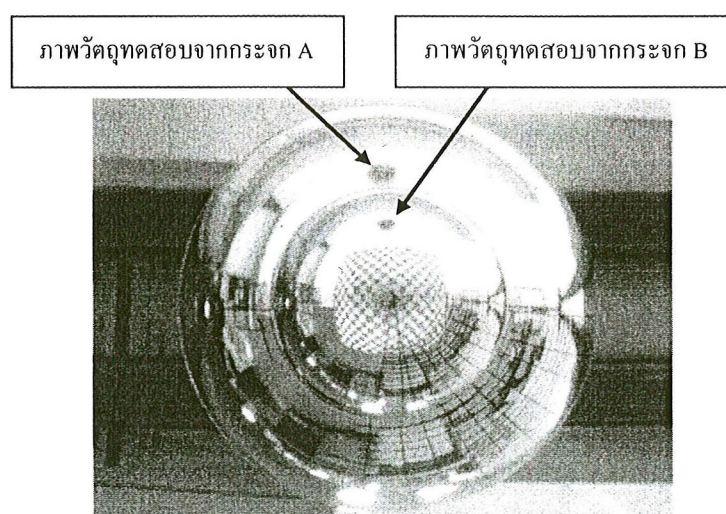
จะทำให้ตำแหน่ง $p_{A(t)}(x_A, y_A)$ และ $p_{B(t)}(x_B, y_B)$ บนระนาบของภาพเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่ง $p_{A(t+1)}(x_A, y_A)$ และ $p_{B(t+1)}(x_B, y_B)$ การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของวัตถุนี้เป็นเวกเตอร์ระยะทางซึ่งจะแสดงได้เป็นรูปลูกศร โดยจะเรียกเวกเตอร์นี้ว่าการไหลเชิงแสง ซึ่งเมื่อนำเวกเตอร์ที่ปรากฏบนระนาบของภาพมาทำตามกระบวนการตามบทที่ 3 จะสามารถทำให้ทราบถึงทิศทางในการเคลื่อนที่ของวัตถุในสามมิติได้

4.3 ผลการทดสอบระบบ

ทำการทดสอบระบบโดยใช้ตัวตรวจรู้แบบเลนส์ - กระจก จับภาพวัตถุทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.2 ทำการเคลื่อนที่ของลูกบอลเป็น 4 ระยะ ตามแนวแกนต่าง ๆ แสดงตัวอย่างดังรูป 4.1 แล้วคำนวณการไหลของแสงด้วยวิธีของ Lucas & Kanade (1981) พร้อมทั้งพล็อตกราฟโครงสร้าง และทิศทางการเคลื่อนที่ของลูกบอล ได้ผลดังต่อไปนี้

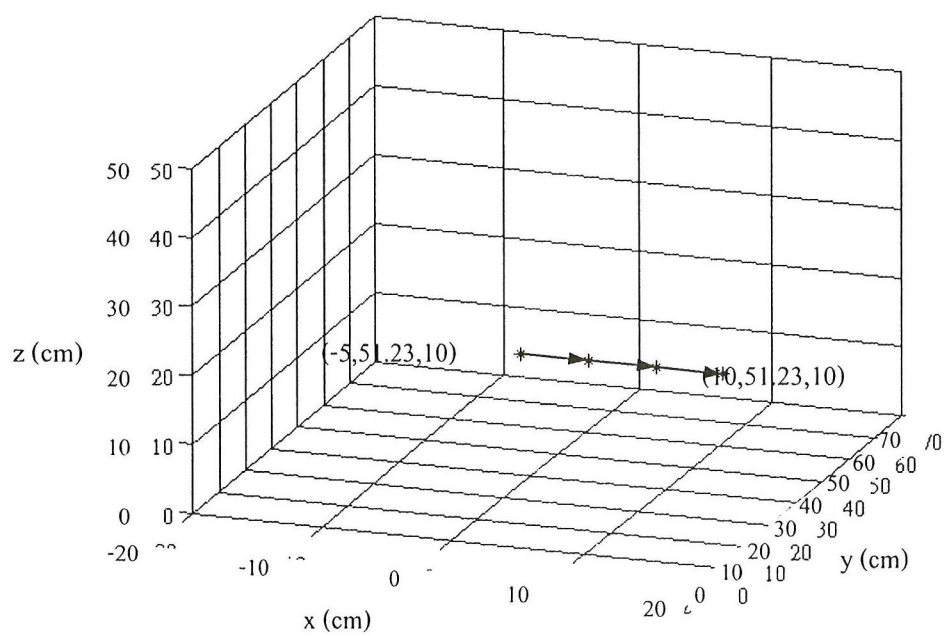


รูปที่ 4.2 แบบจำลองการทดสอบระบบ

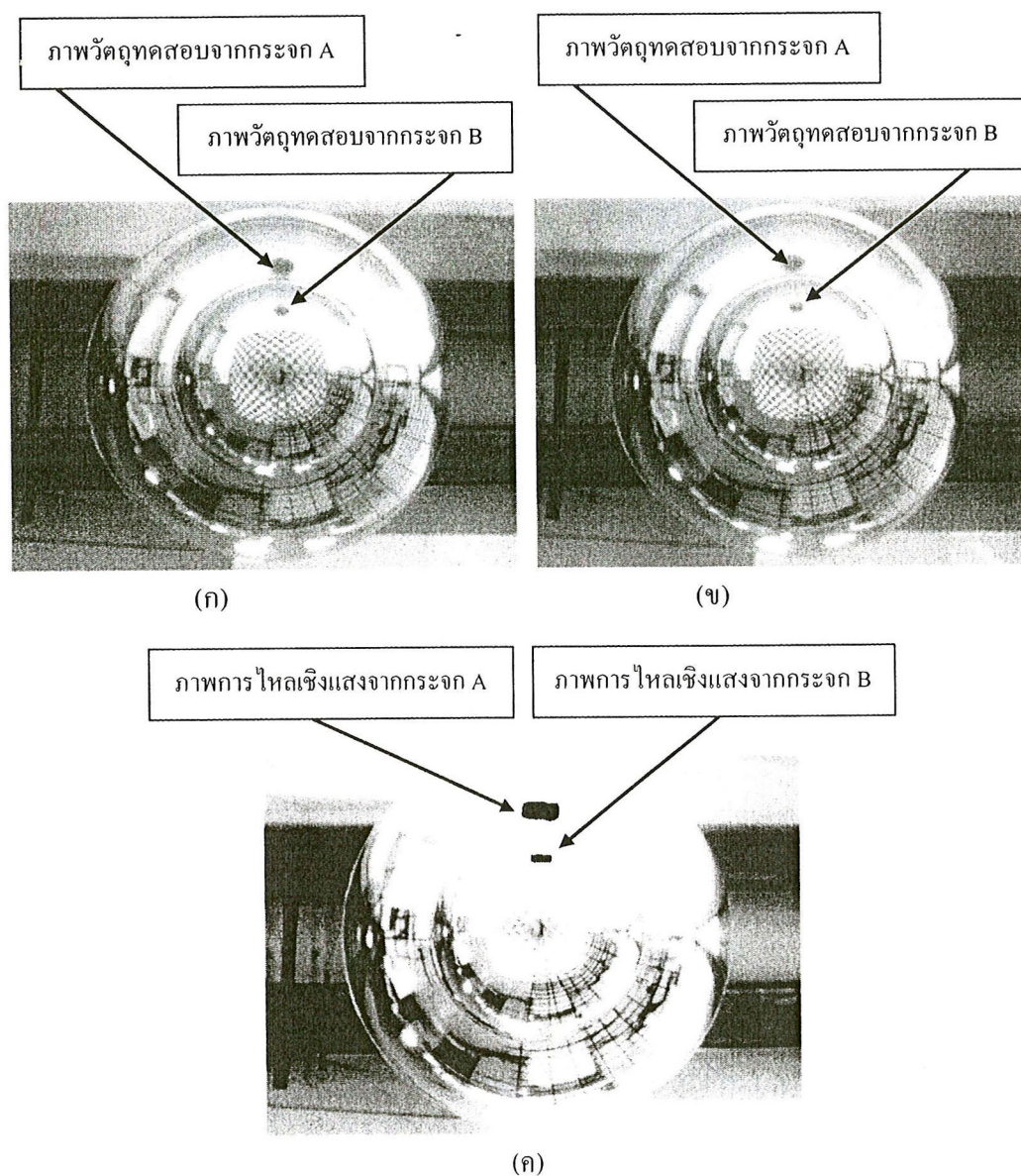


รูปที่ 4.3 ภาพวัตถุทดสอบ

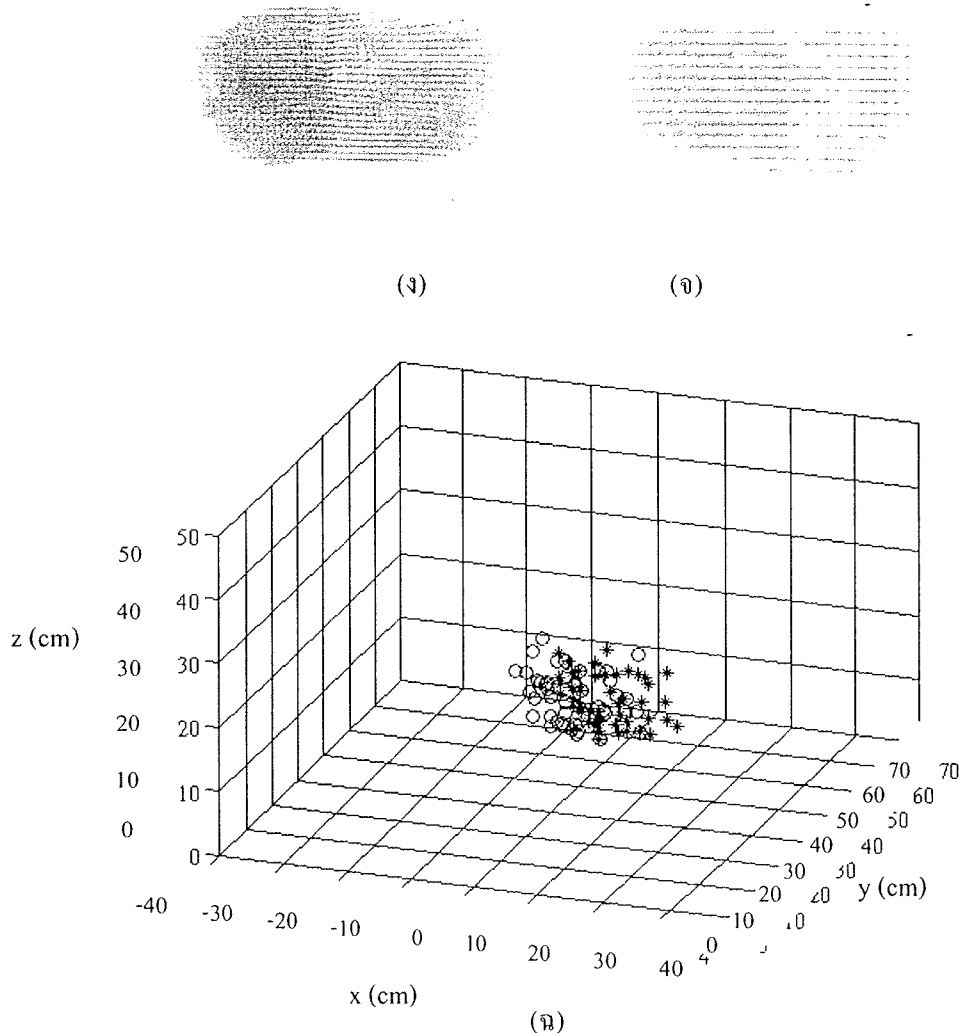
- เคลื่อนที่ตามแนวแกน X ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 การเคลื่อนที่ของวัตถุทดสอบตามแนวแกน X



รูปที่ 4.5 การไหลเชิงแสงของวัตถุจากระยะที่ 1 ไป 2 (ก) ภาพที่เวลา t (ข) ภาพที่เวลา $t+1$
 (ค) ผลที่ได้จากวิธี Lucas & Kanade (ง) ภาพขยายของวัตถุทดสอบ
 จากกระบอก A (จ) ภาพขยายของวัตถุทดสอบจากกระบอก B
 (ฉ) กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดย o เป็นจุด
 ที่เวลา t และ * เป็นจุดที่เวลา $t+1$



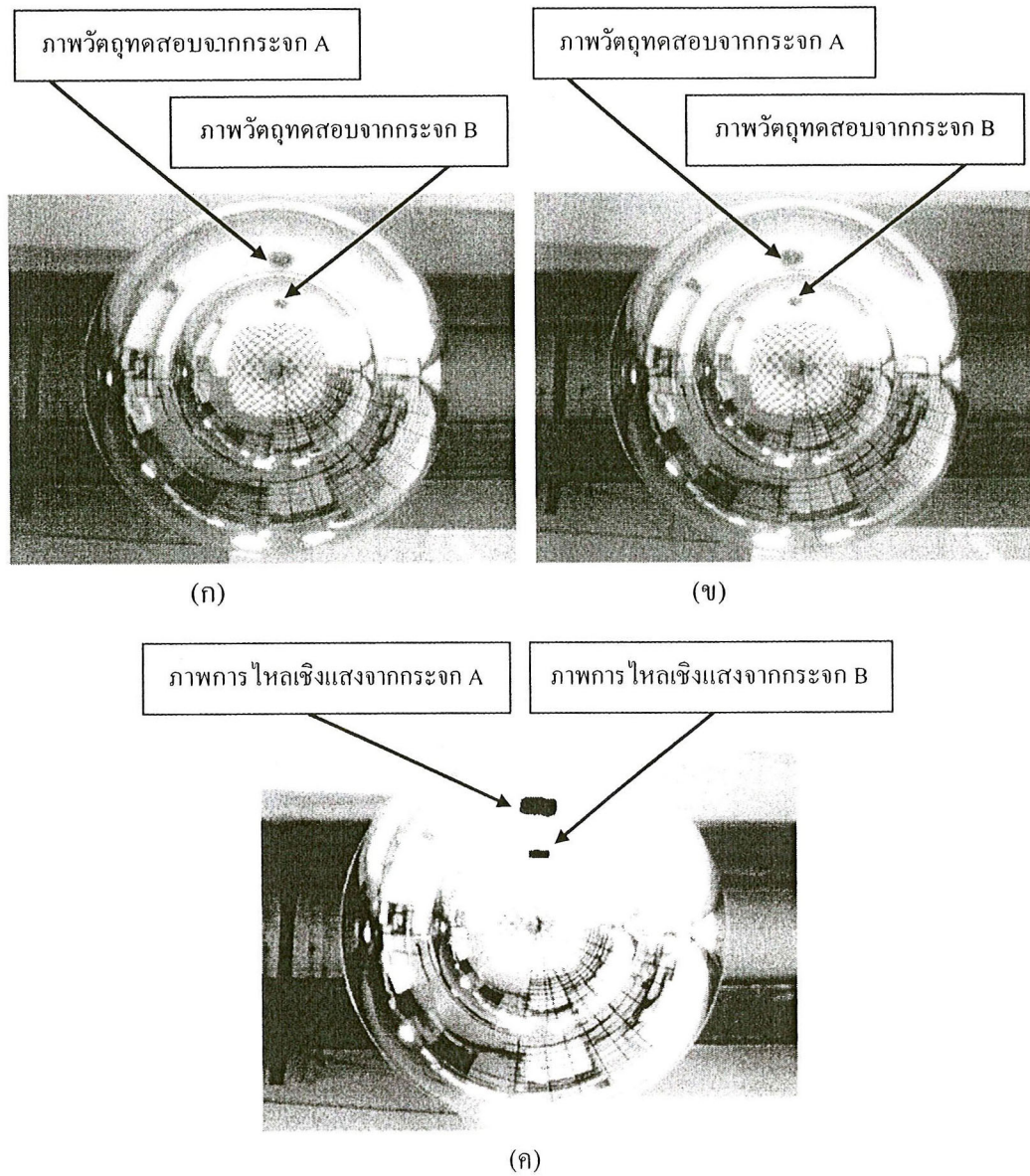
รูปที่ 4.5 การไหลเชิงแสงของวัตถุจากระยะที่ 1 ไป 2 (ก) ภาพที่เวลา t (ข) ภาพที่เวลา $t+1$

(ค) ผลที่ได้จากวิธี Lucas & Kanade (ง) ภาพขยายของวัตถุทดสอบ

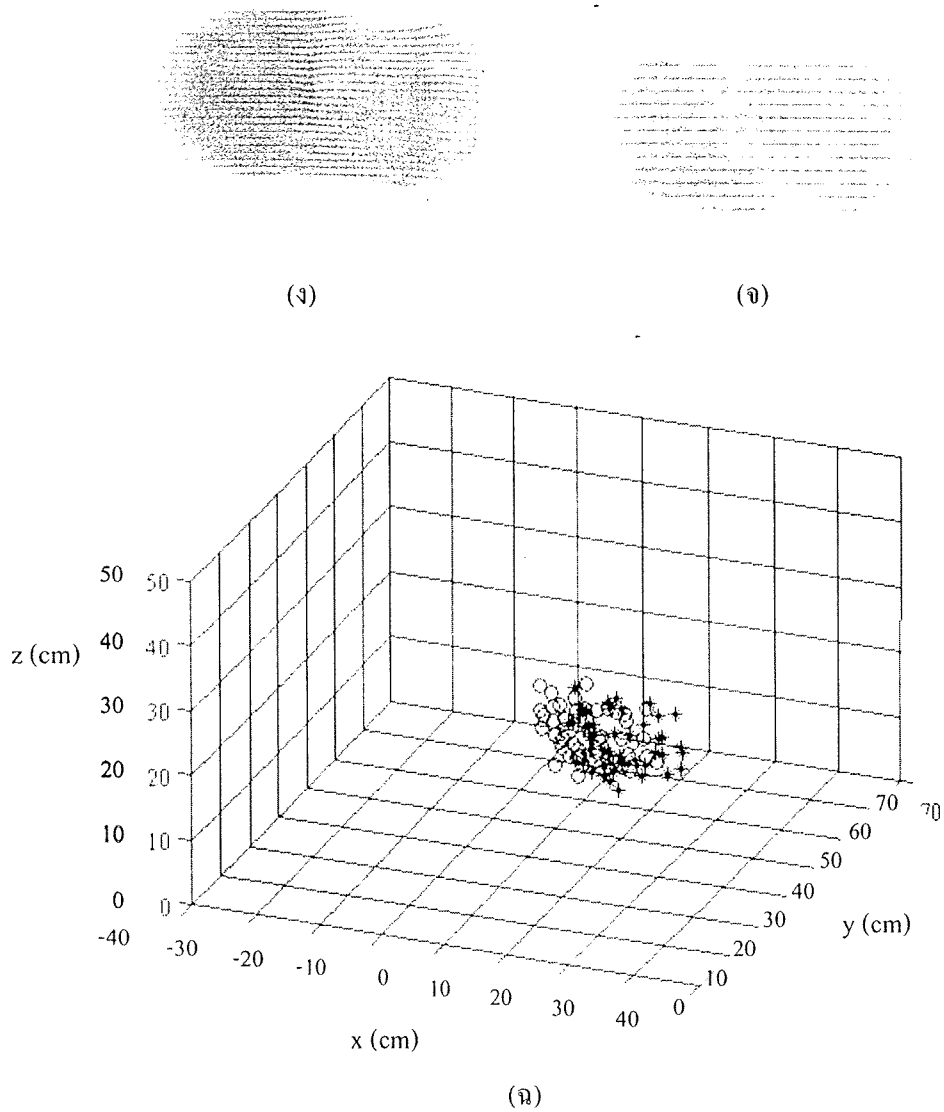
จากกระบอก A (จ) ภาพขยายของวัตถุทดสอบจากกระบอก B

(ฉ) กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดย $\circ$ เป็นจุด

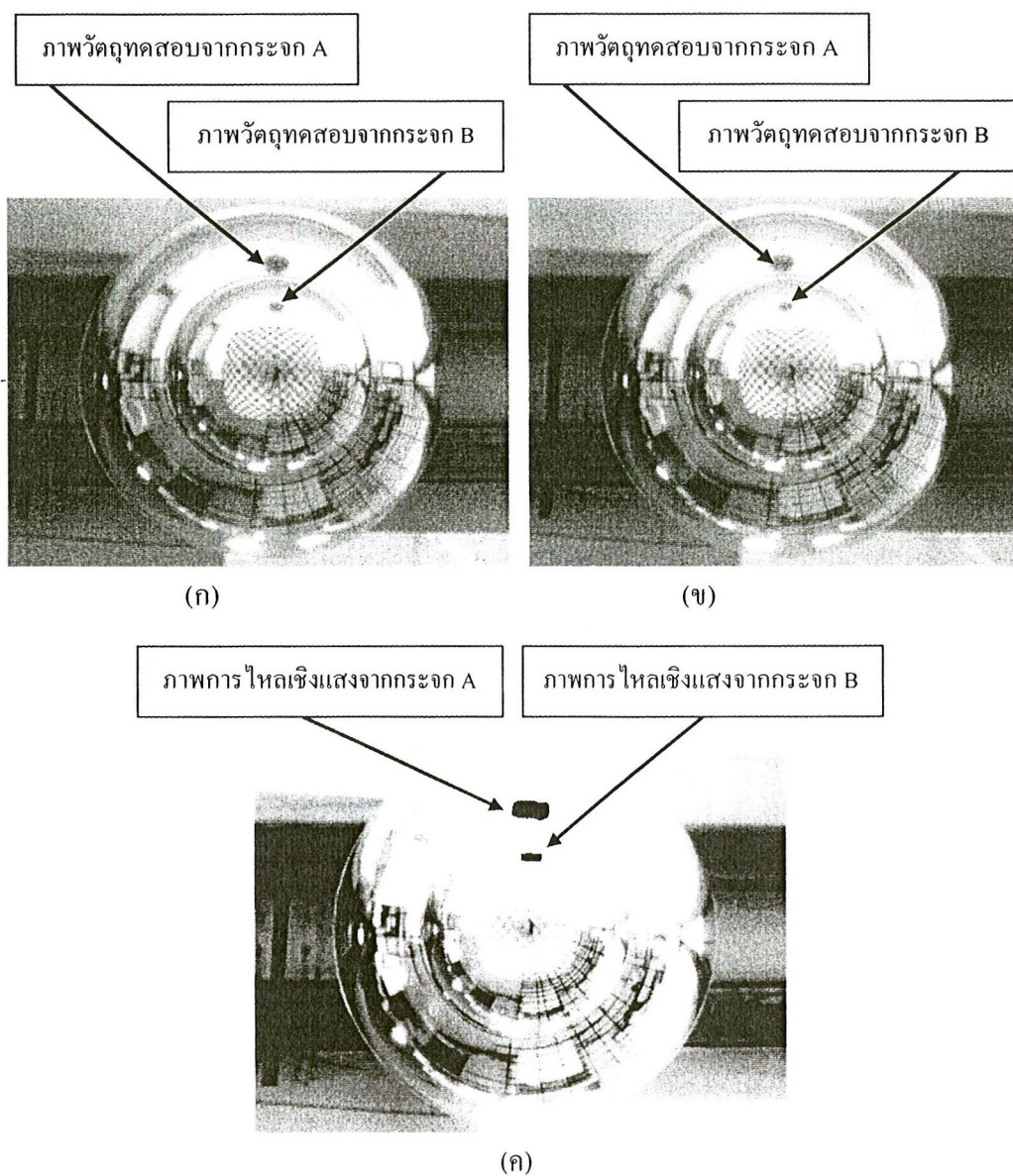
ที่เวลา t และ $*$ เป็นจุดที่เวลา $t+1$ (ต่อ)



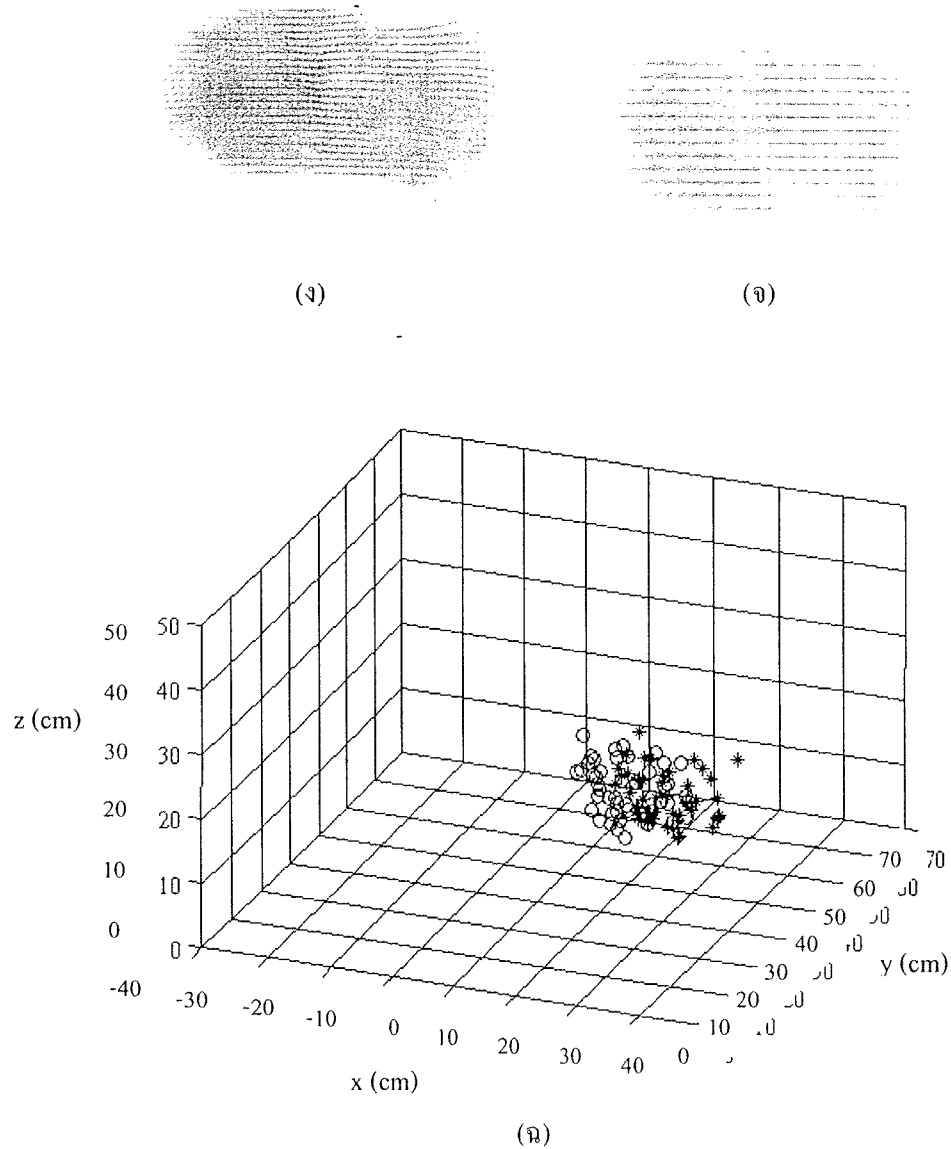
รูปที่ 4.6 การไหลเชิงแสงของวัตถุจากระยะที่ 2 ไป 3 (ก) ภาพที่เวลา t (ข) ภาพที่เวลา $t+1$
 (ค) ผลที่ได้จากวิธี Lucas & Kanade (ง) ภาพขยายของวัตถุทดสอบ
 จากกระบอก A (จ) ภาพขยายของวัตถุทดสอบจากกระบอก B
 (ฉ) กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดย o เป็นจุด
 ที่เวลา t และ * เป็นจุดที่เวลา $t+1$



รูปที่ 4.6 การไหลเชิงแสงของวัตถุจากระยะที่ 2 ไป 3 (ก) ภาพที่เวลา t (ข) ภาพที่เวลา $t+1$
 (ค) ผลที่ได้จากวิธี Lucas & Kanade (ง) ภาพขยายของวัตถุทดสอบ
 จากกระจก A (จ) ภาพขยายของวัตถุทดสอบจากกระจก B
 (ฉ) กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดย o เป็นจุด
 ที่เวลา t และ * เป็นจุดที่เวลา $t+1$ (ต่อ)



รูปที่ 4.7 การไหลเชิงแสงของวัตถุจากระยะที่ 3 ไป 4 (ก) ภาพที่เวลา t (ข) ภาพที่เวลา $t+1$
 (ค) ผลที่ได้จากวิธี Lucas & Kanade (ง) ภาพขยายของวัตถุทดสอบ
 จากกระบอก A (จ) ภาพขยายของวัตถุทดสอบจากกระบอก B
 (ฉ) กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดย o เป็นจุด
 ที่เวลา t และ $*$ เป็นจุดที่เวลา $t+1$



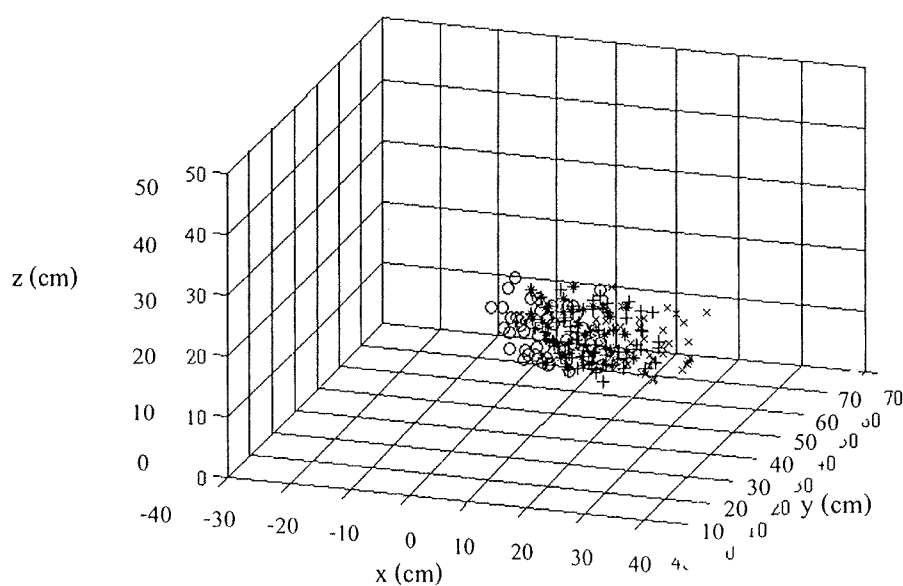
รูปที่ 4.7 การไหลเชิงแสงของวัตถุจากระยะที่ 3 ไป 4 (ก) ภาพที่เวลา t (ข) ภาพที่เวลา $t+1$

(ค) ผลที่ได้จากวิธี Lucas & Kanade (ง) ภาพขยายของวัตถุทดสอบ

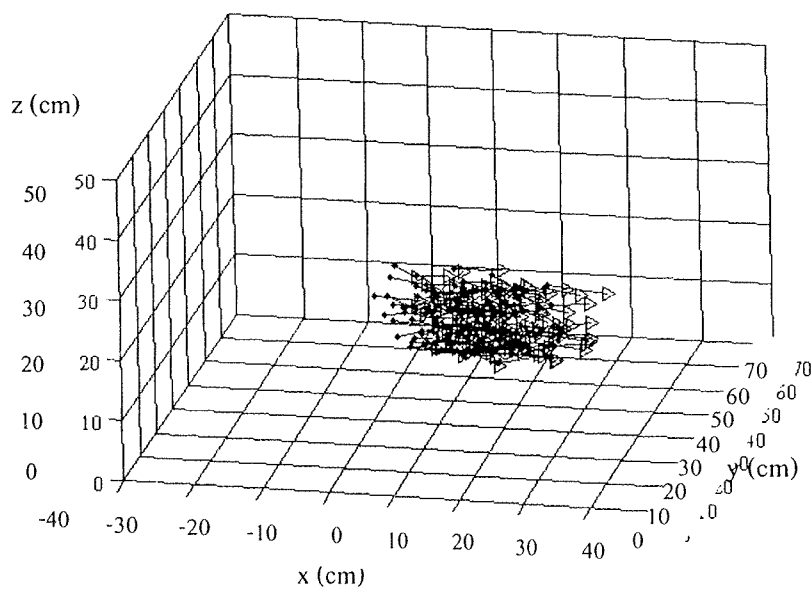
จากกระบอก A (จ) ภาพขยายของวัตถุทดสอบจากกระบอก B

(ฉ) กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดย $\circ$ เป็นจุด

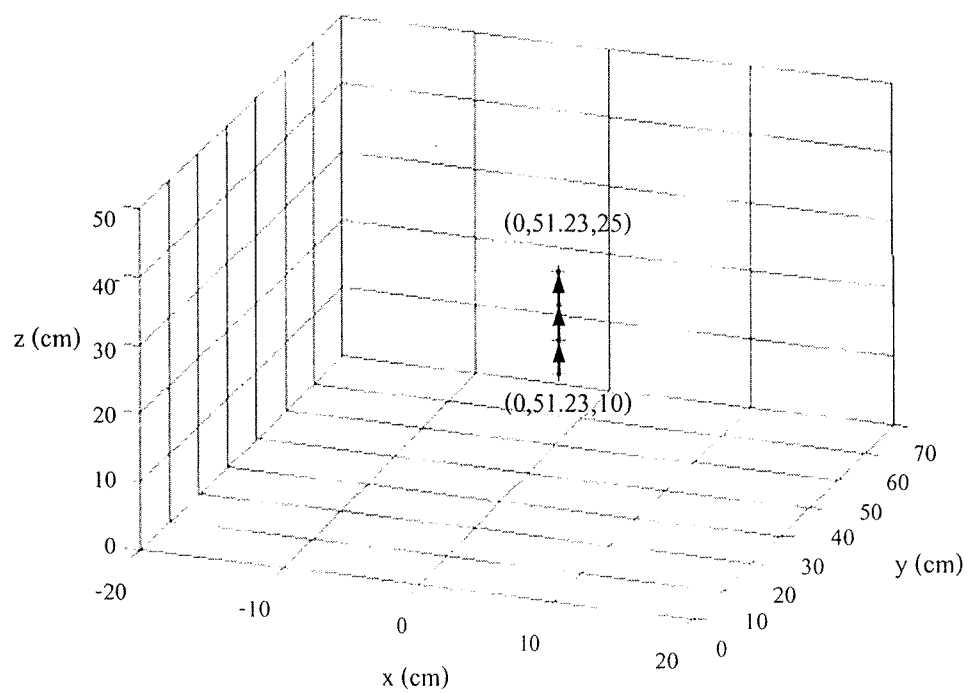
ที่เวลา t และ $*$ เป็นจุดที่เวลา $t+1$ (ต่อ)



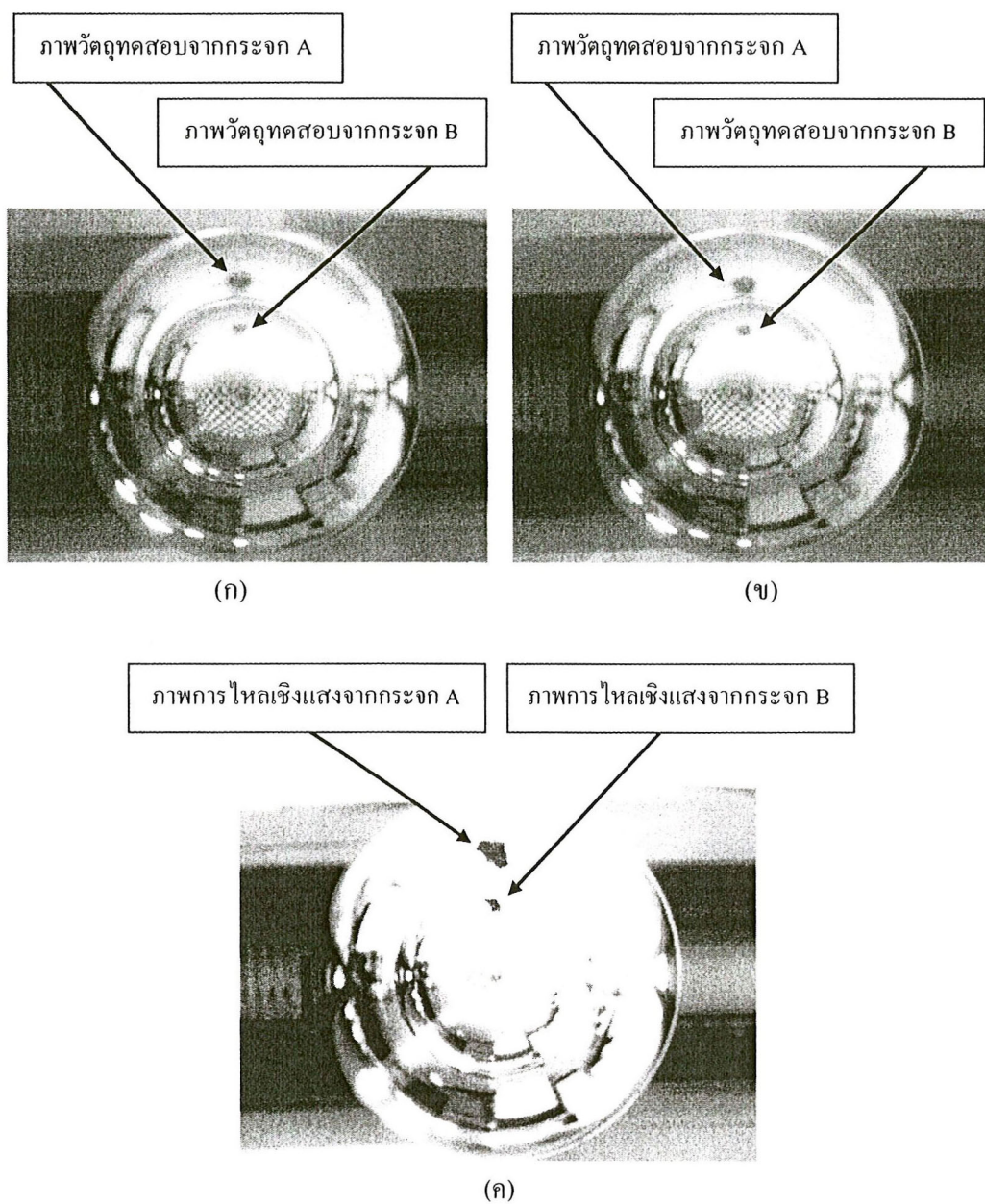
รูปที่ 4.8 กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุจากระยะที่ 1 ไป 4 โดย “o” เป็นจุดเริ่มต้น
 “*” เป็นจุดที่ 2 “+” เป็นจุดที่ 3 “x” เป็นจุดที่ 4



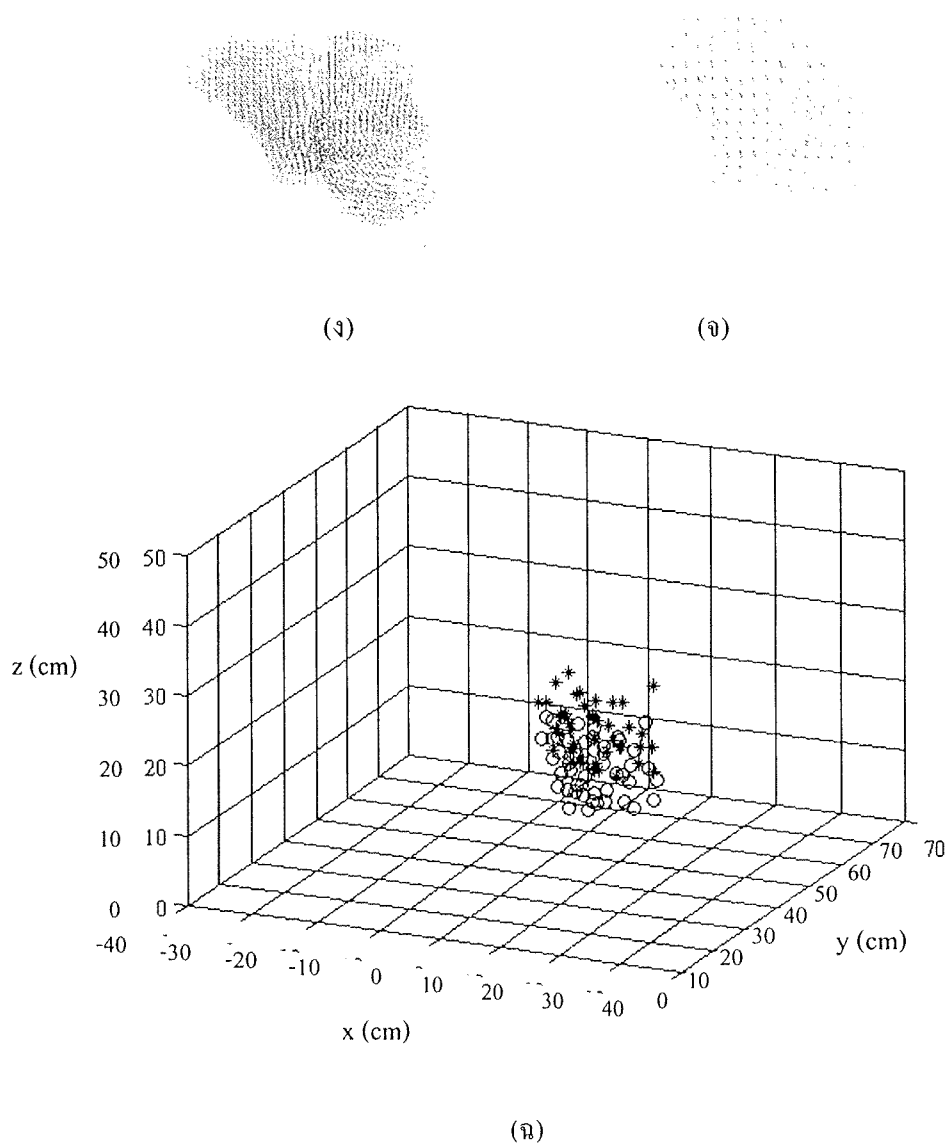
รูปที่ 4.9 เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของวัตถุจากระยะที่ 1 ไป 4
 - เคลื่อนที่ตามแนวแกน Z ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 การเคลื่อนที่ของวัตถุทดสอบตามแนวแกน Z



รูปที่ 4.11 การไหลเชิงแสงของวัตถุจากระยะที่ 1 ไป 2 (ก) ภาพที่เวลา t (ข) ภาพที่เวลา $t+1$
 (ค) ผลที่ได้จากวิธี Lucas & Kanade (ง) ภาพขยายของวัตถุทดสอบ
 จากกระบอก A (จ) ภาพขยายของวัตถุทดสอบจากกระบอก B
 (ฉ) กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดย o เป็นจุด
 ที่เวลา t และ * เป็นจุดที่เวลา $t+1$



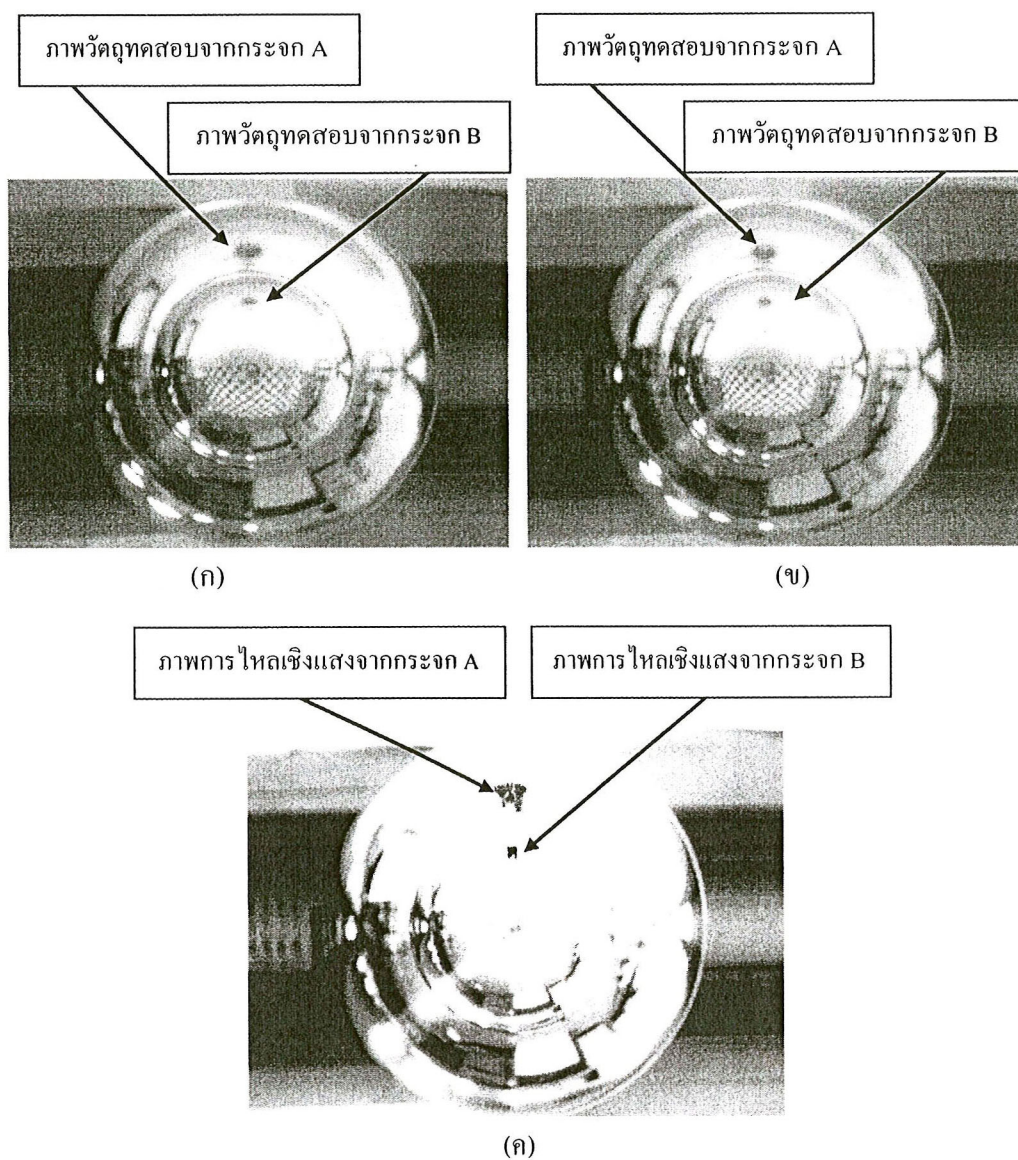
รูปที่ 4.11 การไหลเชิงแสงของวัตถุจากระยะที่ 1 ไป 2 (ก) ภาพที่เวลา t (ข) ภาพที่เวลา $t+1$

(ค) ผลที่ได้จากวิธี Lucas & Kanade (ง) ภาพขยายของวัตถุทดสอบ

จากกระจก A (จ) ภาพขยายของวัตถุทดสอบจากกระจก B

(ฉ) กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดย $\circ$ เป็นจุด

ที่เวลา t และ $*$ เป็นจุดที่เวลา $t+1$ (ต่อ)



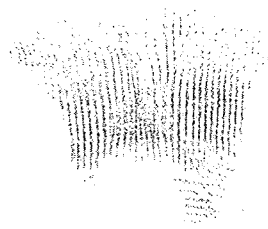
รูปที่ 4.12 การไหลเชิงแสงของวัตถุจากระยะที่ 2 ไป 3 (ก) ภาพที่เวลา t (ข) ภาพที่เวลา $t+1$

(ค) ผลที่ได้จากวิธี Lucas & Kanade (ง) ภาพขยายของวัตถุทดสอบ

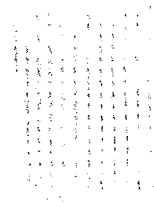
จากกระบอก A (จ) ภาพขยายของวัตถุทดสอบจากกระบอก B

(ฉ) กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดย o เป็นจุด

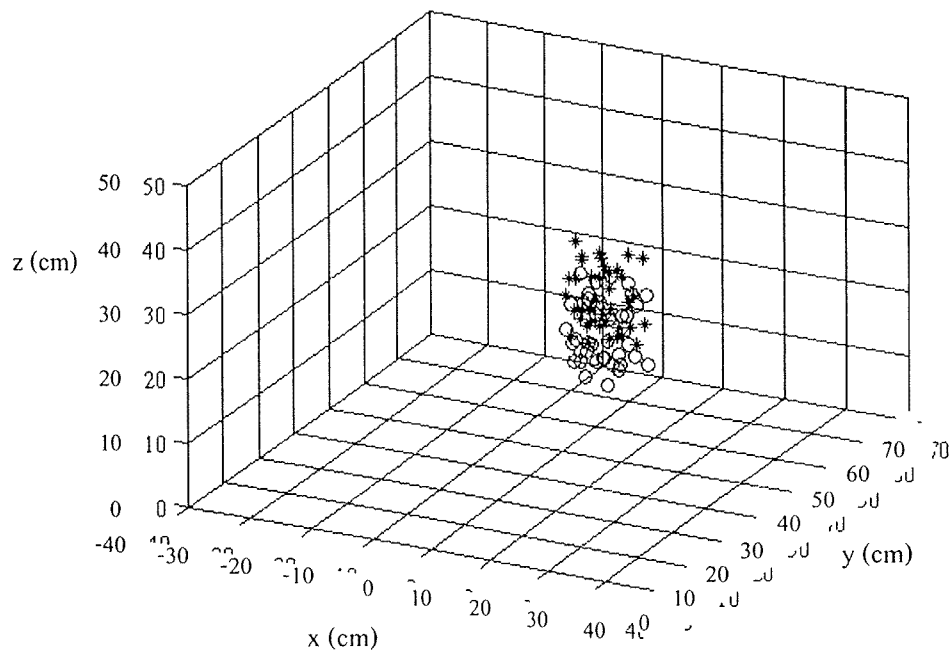
ที่เวลา t และ $*$ เป็นจุดที่เวลา $t+1$



(ง)



(จ)



(ฉ)

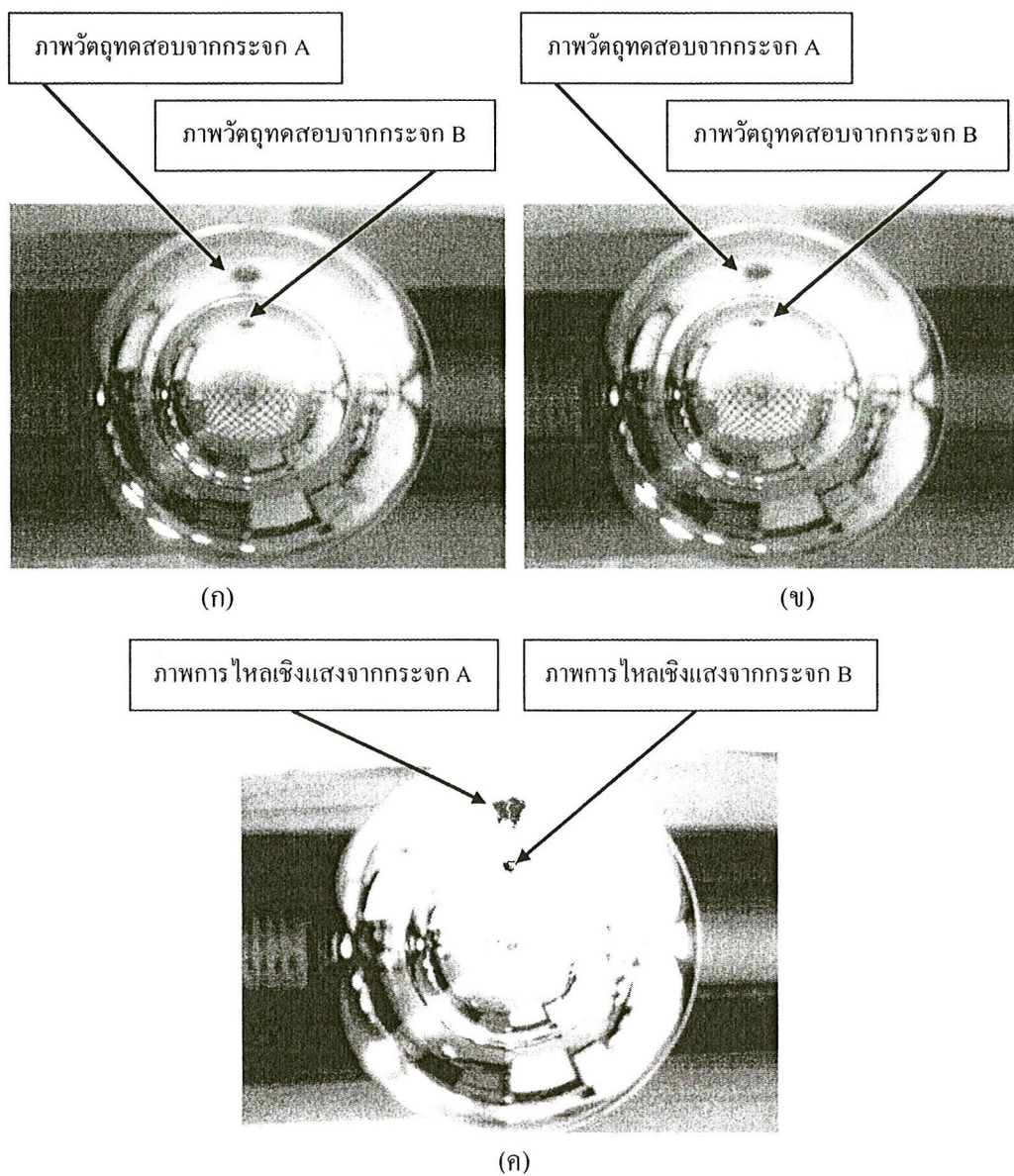
รูปที่ 4.12 การไหลเชิงแสงของวัตถุจากระยะที่ 2 ไป 3 (ก) ภาพที่เวลา t (ข) ภาพที่เวลา $t+1$

(ค) ผลที่ได้จากวิธี Lucas & Kanade (ง) ภาพขยายของวัตถุทดสอบ

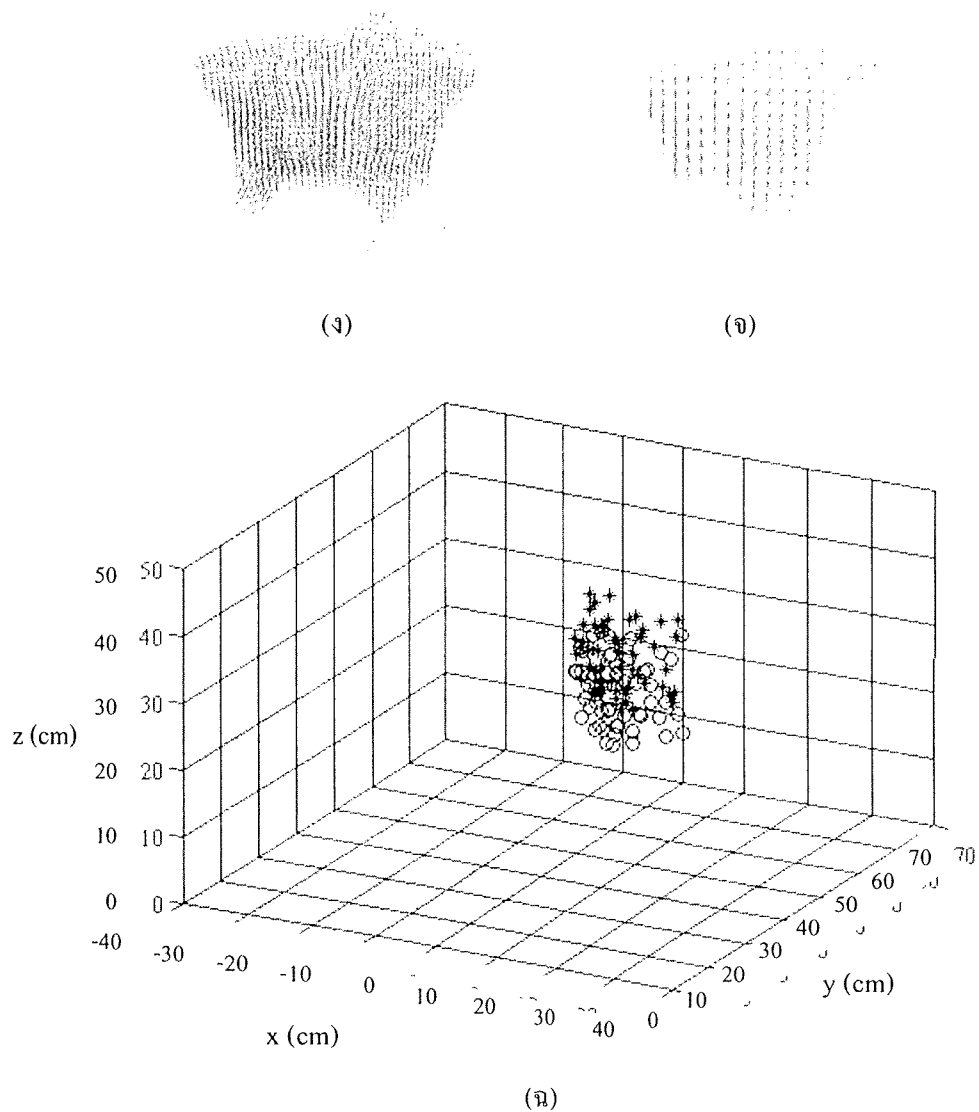
จากกระจก A (จ) ภาพขยายของวัตถุทดสอบจากกระจก B

(ฉ) กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดย $\circ$ เป็นจุด

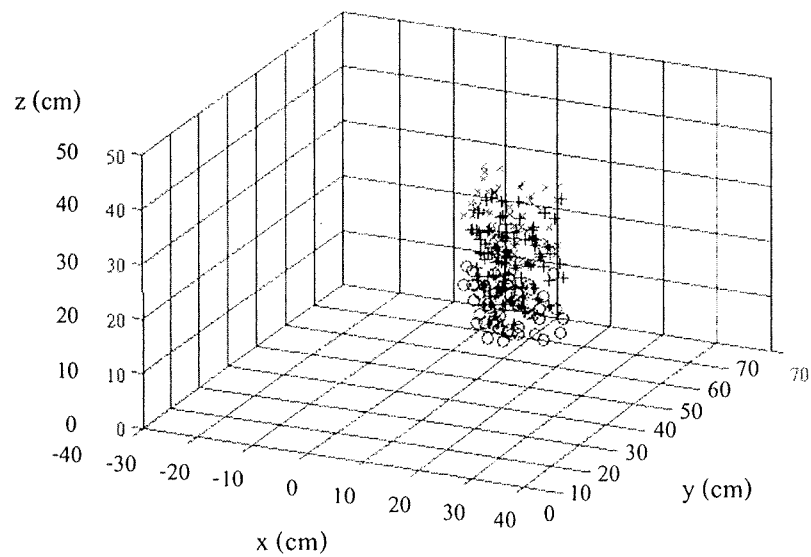
ที่เวลา t และ $*$ เป็นจุดที่เวลา $t+1$ (ต่อ)



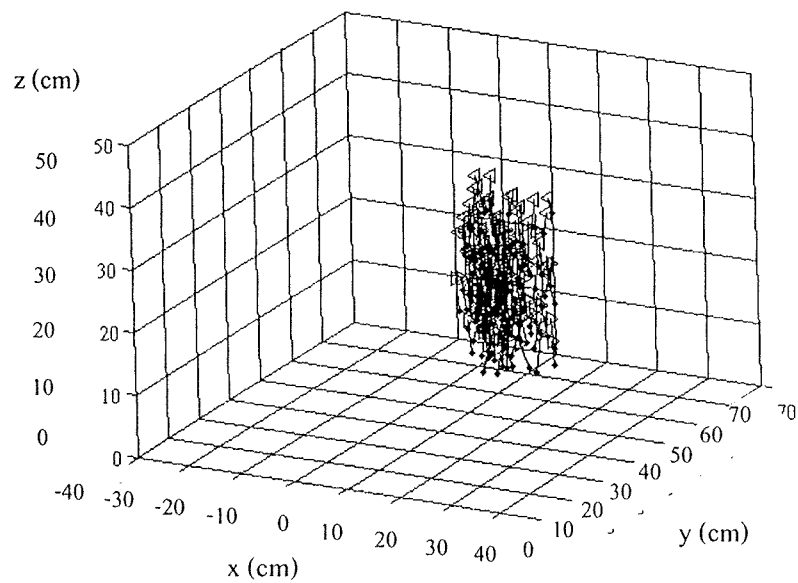
รูปที่ 4.13 การไหลเชิงแสงของวัตถุจากระยะที่ 3 ไป 4 (ก) ภาพที่เวลา t (ข) ภาพที่เวลา $t+1$
 (ค) ผลที่ได้จากวิธี Lucas & Kanade (ง) ภาพขยายของวัตถุทดสอบ
 จากกระบอก A (จ) ภาพขยายของวัตถุทดสอบจากกระบอก B
 (ฉ) กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดย o เป็นจุด
 ที่เวลา t และ * เป็นจุดที่เวลา $t+1$



รูปที่ 4.13 การไหลเชิงแสงของวัตถุจากระยะที่ 3 ไป 4 (ก) ภาพที่เวลา t (ข) ภาพที่เวลา $t+1$
 (ค) ผลที่ได้จากวิธี Lucas & Kanade (ง) ภาพขยายของวัตถุทดสอบ
 จากกระจก A (จ) ภาพขยายของวัตถุทดสอบจากกระจก B
 (ฉ) กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดย o เป็นจุด
 ที่เวลา t และ * เป็นจุดที่เวลา $t+1$ (ต่อ)

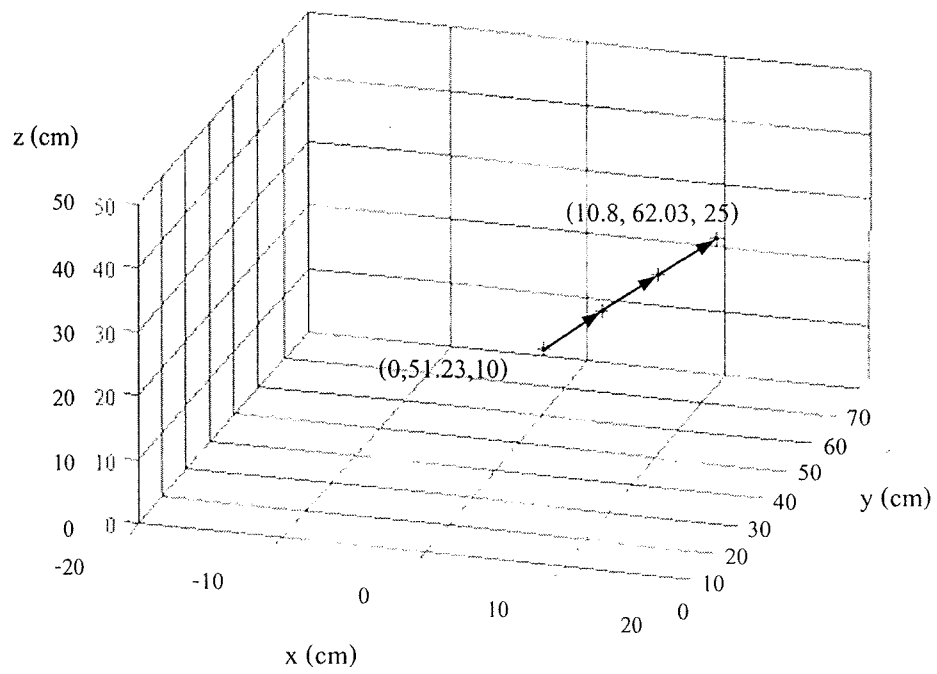


รูปที่ 4.14 กราฟทิศทางเคลื่อนที่ของวัตถุจากระยะที่ 1 ไป 4 โดย “o” เป็นจุดเริ่มต้น
 “*” เป็นจุดที่ 2 “+” เป็นจุดที่ 3 “x” เป็นจุดที่ 4

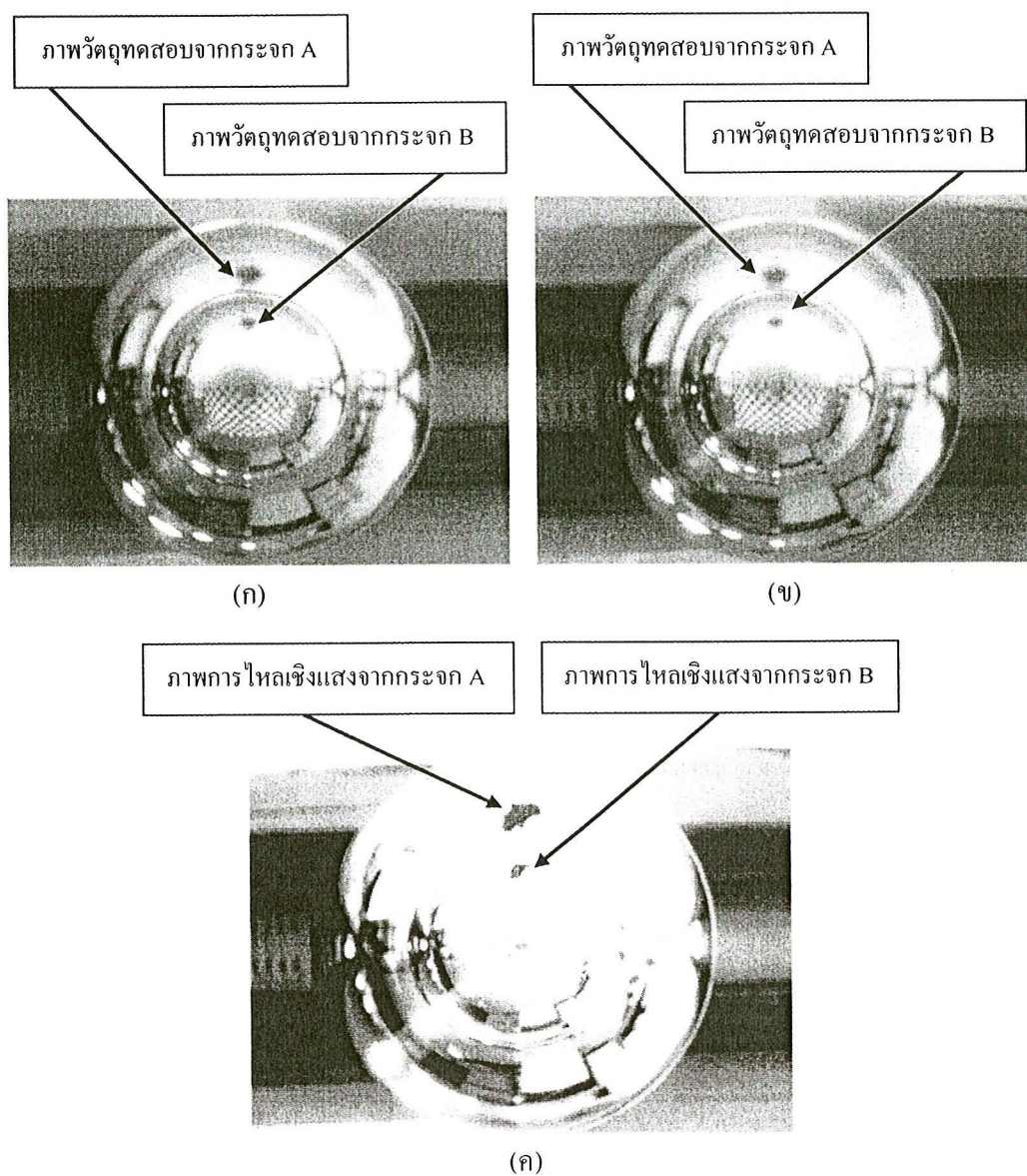


รูปที่ 4.15 เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของวัตถุจากระยะที่ 1 ไป 4

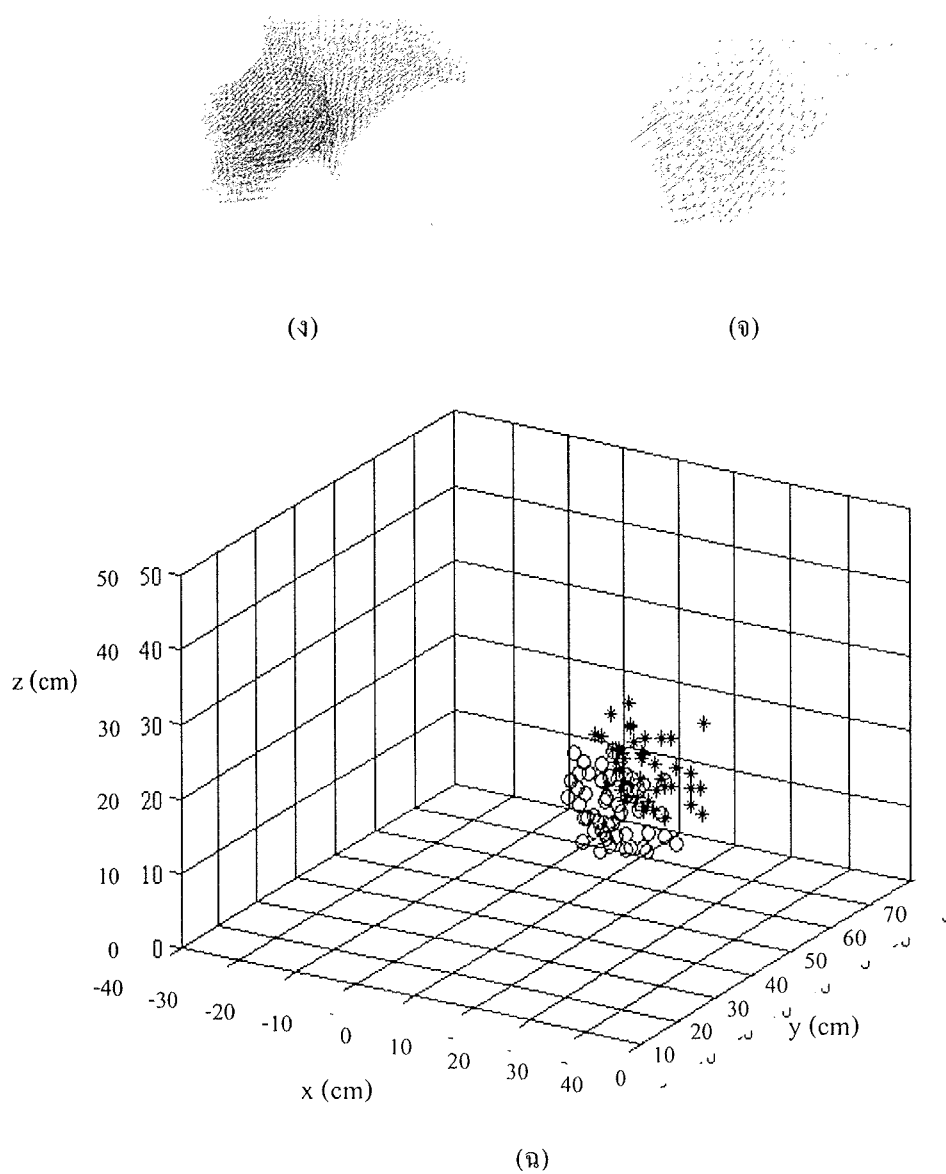
- เคลื่อนที่ตามแนวแกน XYZ ดังแสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 การเคลื่อนที่ของวัตถุทดสอบในแนวแกน XYZ



รูปที่ 4.17 การไหลเชิงแสงของวัตถุจากระยะที่ 1 ไป 2 (ก) ภาพที่เวลา t (ข) ภาพที่เวลา $t+1$
 (ค) ผลที่ได้จากวิธี Lucas & Kanade (ง) ภาพขยายของวัตถุทดสอบ
 จากกระบอก A (จ) ภาพขยายของวัตถุทดสอบจากกระบอก B
 (ฉ) กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดย o เป็นจุด
 ที่เวลา t และ $*$ เป็นจุดที่เวลา $t+1$



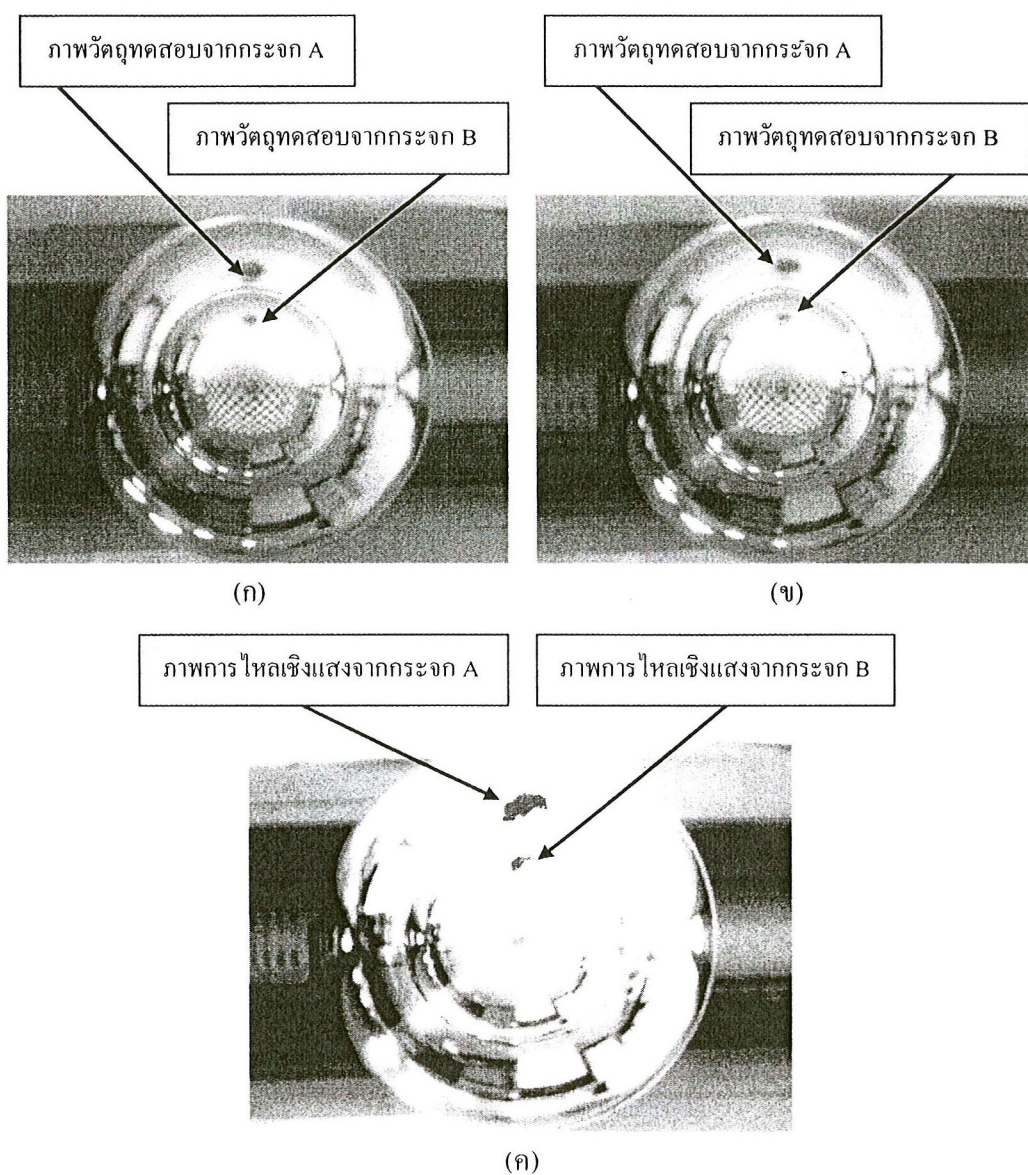
รูปที่ 4.17 การไหลเชิงแสงของวัตถุจากระยะที่ 1 ไป 2 (ก) ภาพที่เวลา t (ข) ภาพที่เวลา $t+1$

(ค) ผลที่ได้จากวิธี Lucas & Kanade (ง) ภาพขยายของวัตถุทดสอบ

จากกระจก A (จ) ภาพขยายของวัตถุทดสอบจากกระจก B

(ฉ) กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดย o เป็นจุด

ที่เวลา t และ * เป็นจุดที่เวลา $t+1$ (ต่อ)



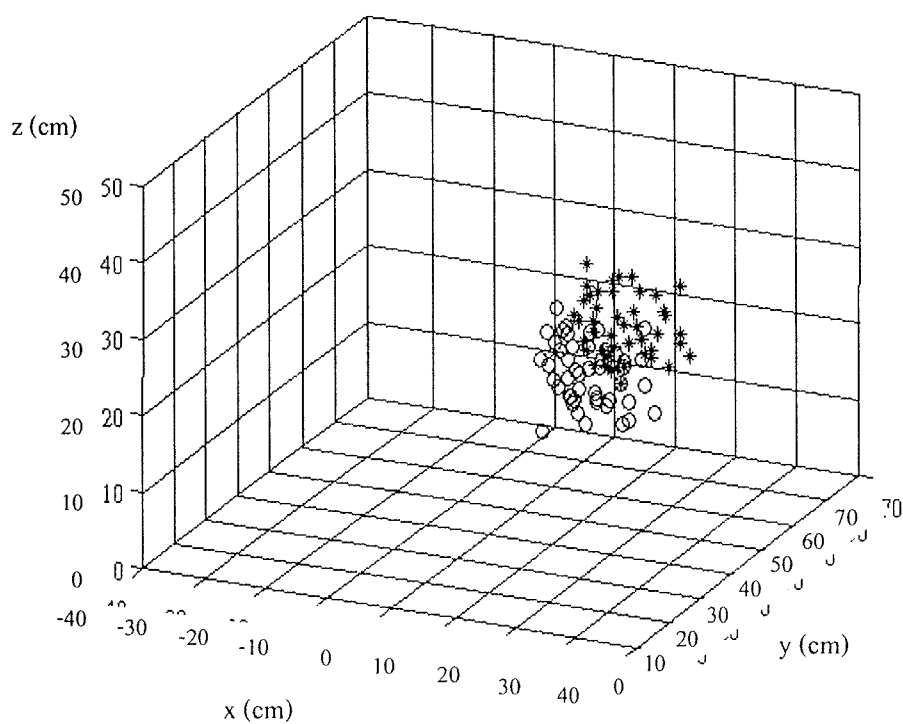
รูปที่ 4.18 การไหลเชิงแสงของวัตถุจากระยะที่ 2 ไป 3 (ก) ภาพที่เวลา t (ข) ภาพที่เวลา $t+1$
 (ค) ผลที่ได้จากวิธี Lucas & Kanade (ง) ภาพขยายของวัตถุทดสอบ
 จากกระบอก A (จ) ภาพขยายของวัตถุทดสอบจากกระบอก B
 (ฉ) กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดย o เป็นจุด
 ที่เวลา t และ * เป็นจุดที่เวลา $t+1$



(ง)



(จ)



(ฉ)

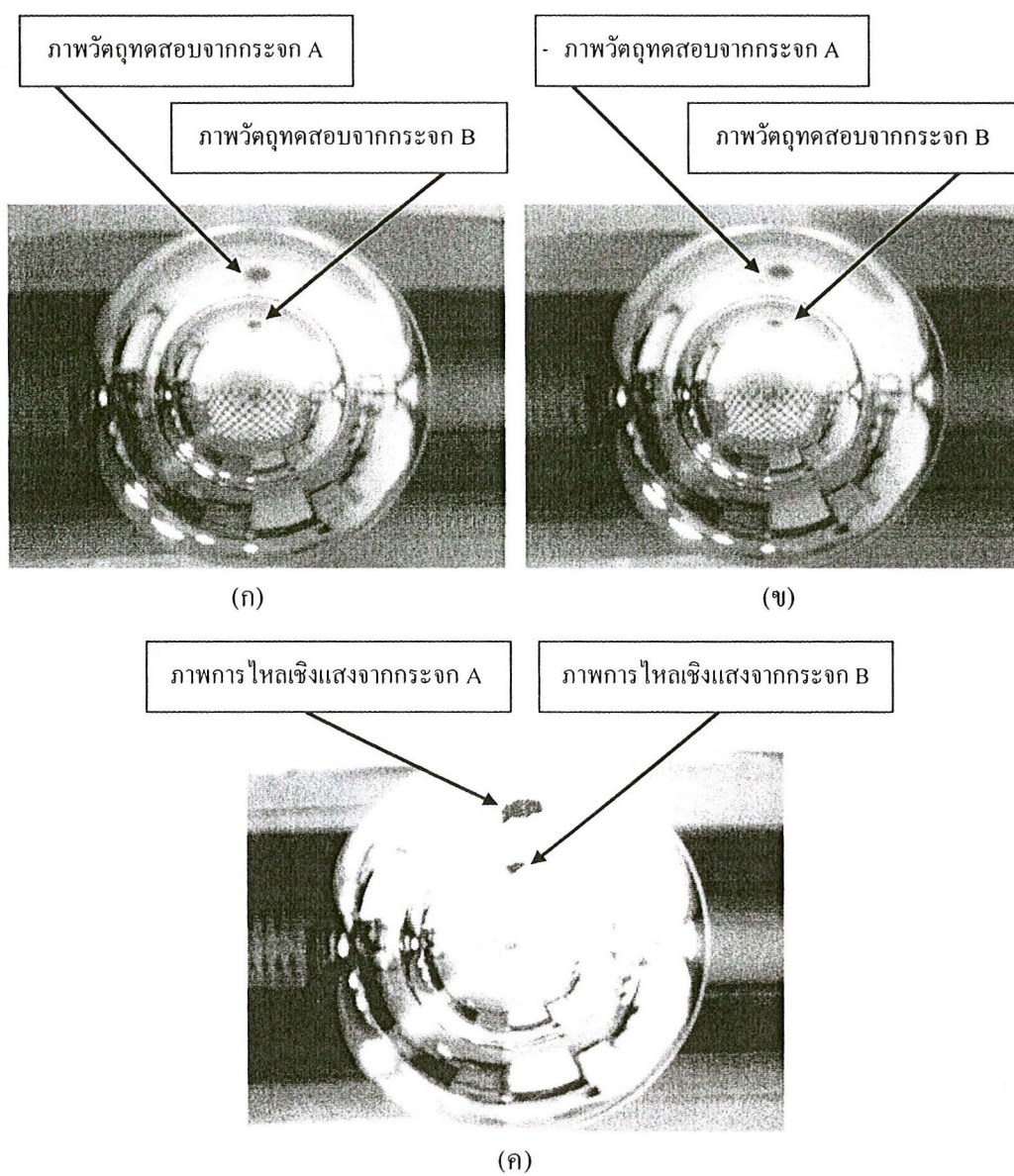
รูปที่ 4.18 การไหลเชิงแสงของวัตถุจากระยะที่ 2 ไป 3 (ก) ภาพที่เวลา t (ข) ภาพที่เวลา $t+1$

(ค) ผลที่ได้จากวิธี Lucas & Kanade (ง) ภาพขยายของวัตถุทดสอบ

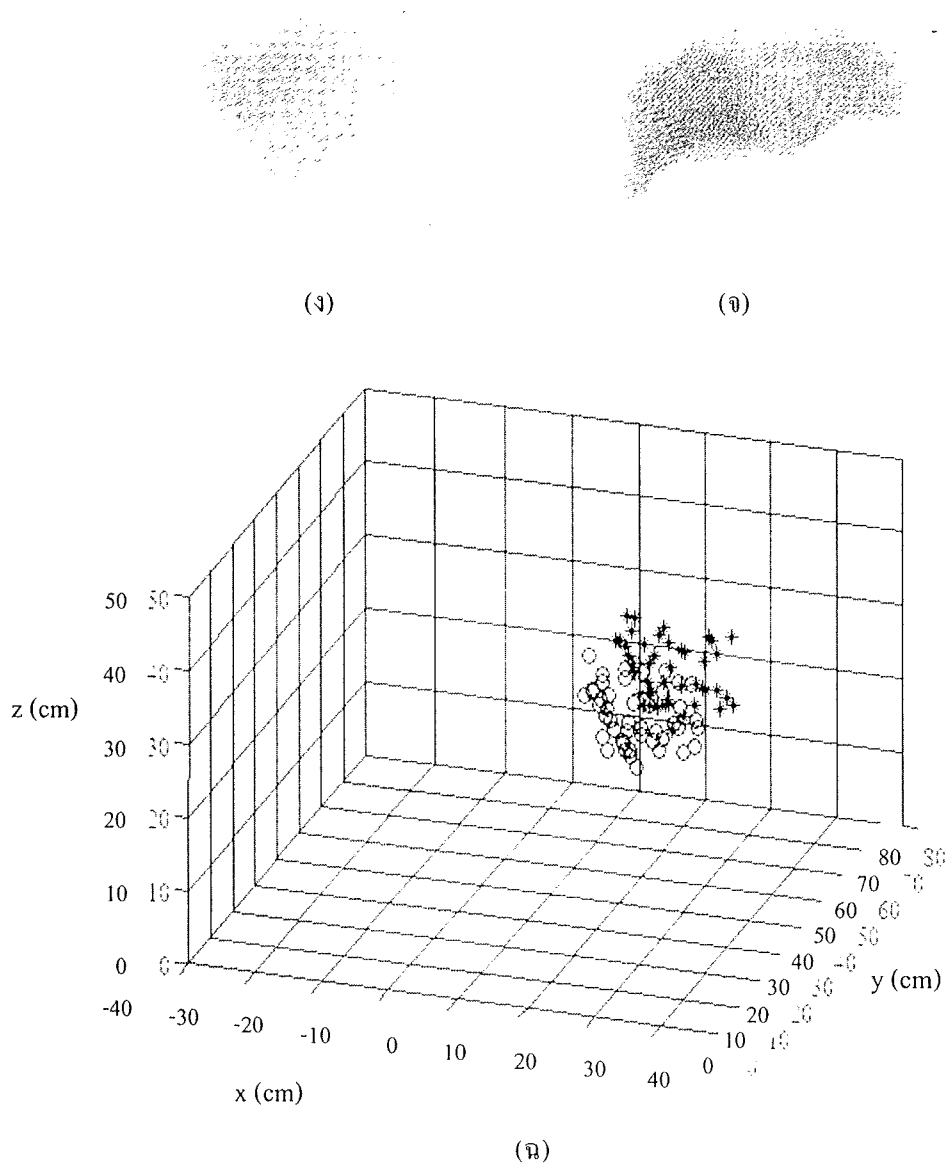
จากกระบอก A (จ) ภาพขยายของวัตถุทดสอบจากกระบอก B

(ฉ) กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดย $\circ$ เป็นจุด

ที่เวลา t และ $*$ เป็นจุดที่เวลา $t+1$ (ต่อ)



รูปที่ 4.19 การไหลเชิงแสงของวัตถุจากระยะที่ 3 ไป 4 (ก) ภาพที่เวลา t (ข) ภาพที่เวลา $t+1$
 (ค) ผลที่ได้จากวิธี Lucas & Kanade (ง) ภาพขยายของวัตถุทดสอบ
 จากกระบอก A (จ) ภาพขยายของวัตถุทดสอบจากกระบอก B
 (ฉ) กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดย o เป็นจุด
 ที่เวลา t และ $*$ เป็นจุดที่เวลา $t+1$



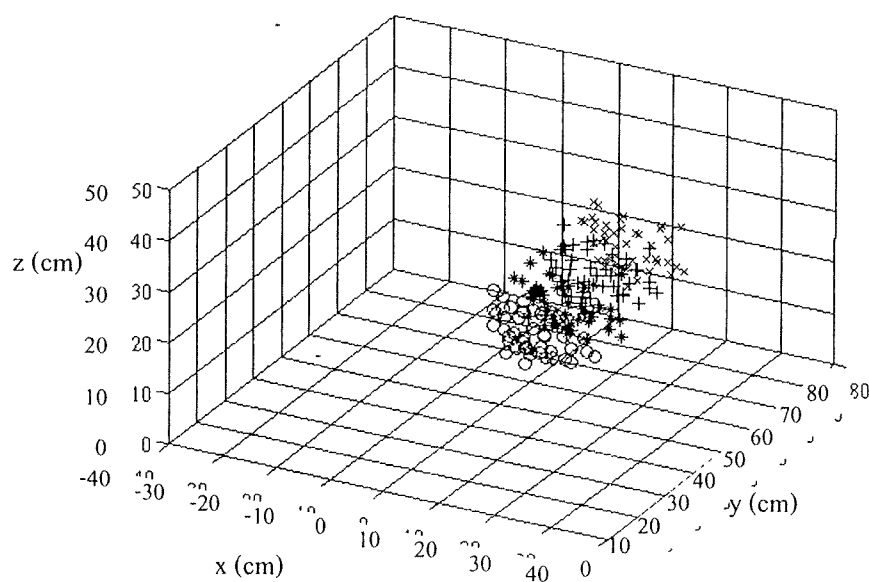
รูปที่ 4.19 การไหลเชิงแสงของวัตถุจากระยะที่ 3 ไป 4 (ก) ภาพที่เวลา t (ข) ภาพที่เวลา $t+1$

(ค) ผลที่ได้จากวิธี Lucas & Kanade (ง) ภาพขยายของวัตถุทดสอบ

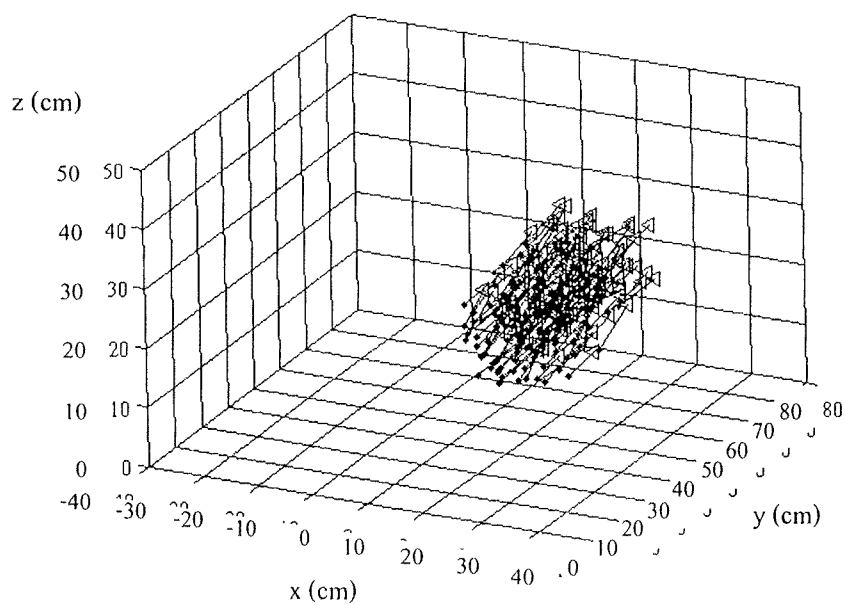
จากกระจก A (จ) ภาพขยายของวัตถุทดสอบจากกระจก B

(ฉ) กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดย o เป็นจุด

ที่เวลา t และ * เป็นจุดที่เวลา $t+1$ (ต่อ)



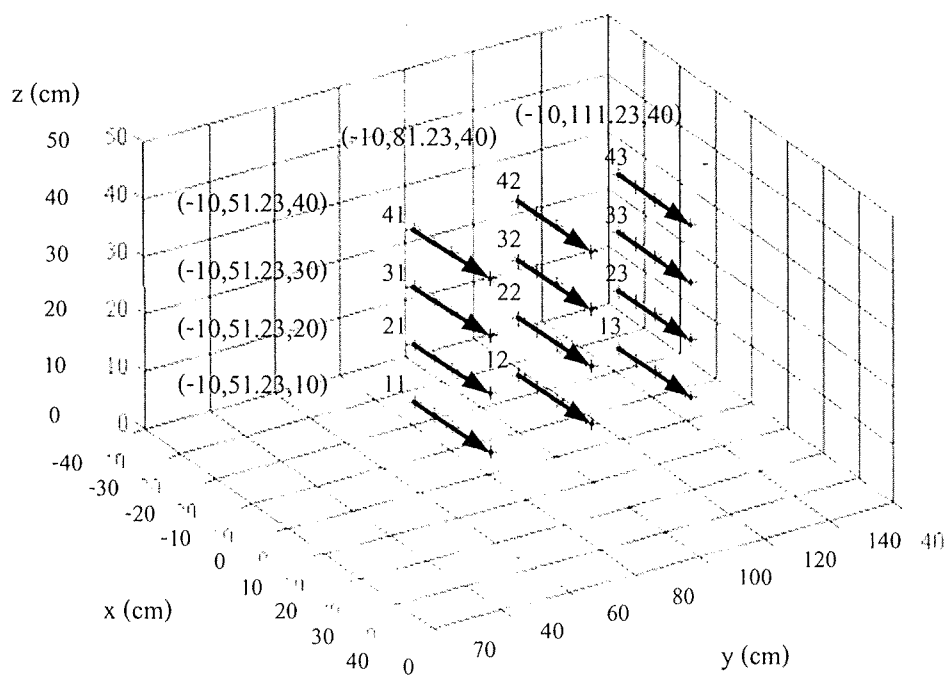
รูปที่ 4.20 กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุจากระยะที่ 1 ไป 4 โดย “o” เป็นจุดเริ่มต้น
 “*” เป็นจุดที่ 2 “+” เป็นจุดที่ 3 “x” เป็นจุดที่ 4



รูปที่ 4.21 เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของวัตถุจากระยะที่ 1 ไป 4

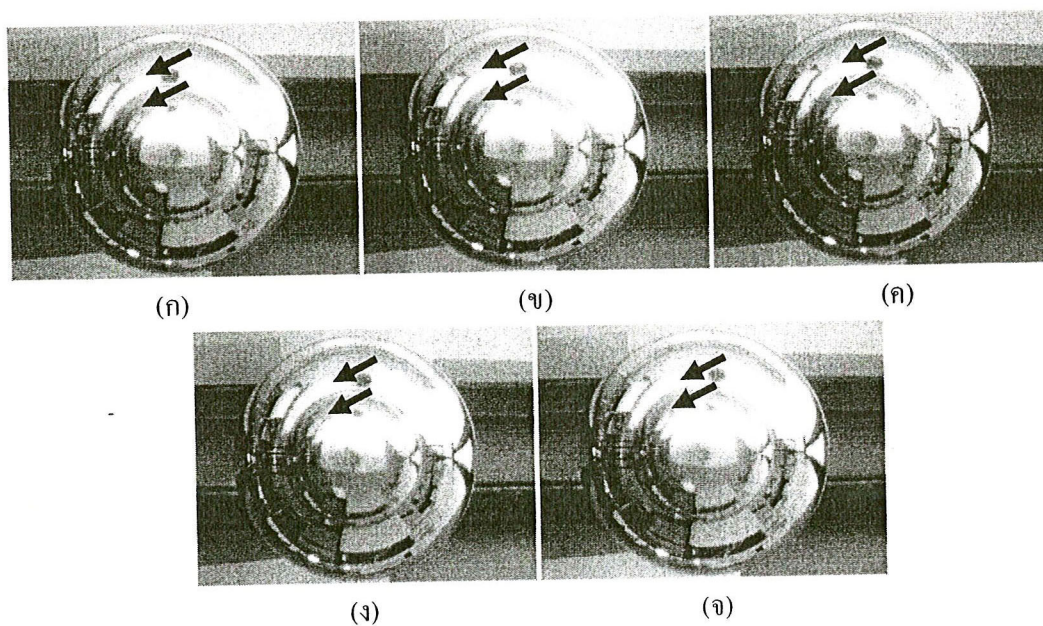
4.4 ทดสอบย่านการทำงานของระบบ

ทำการทดลองโดยเคลื่อนที่วัตถุทดสอบที่ระยะต่างๆ ดังรูปที่ 4.22

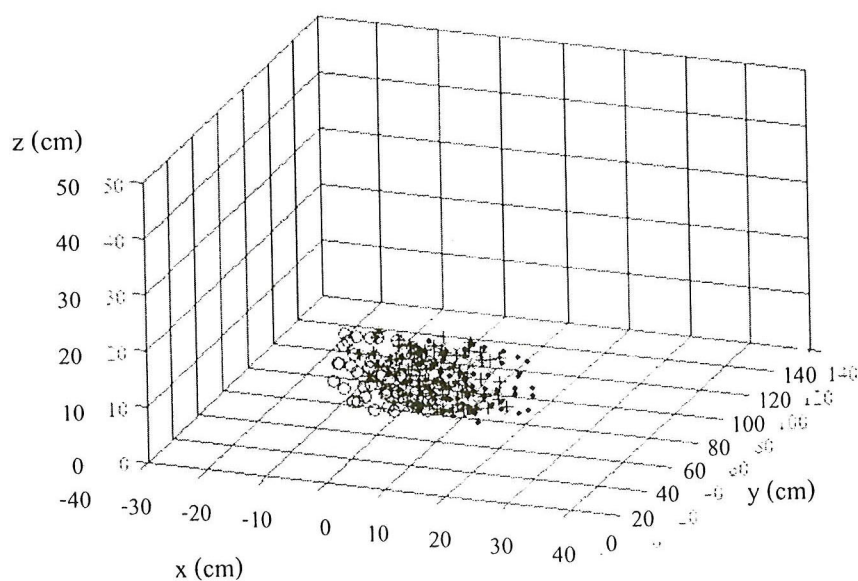


รูปที่ 4.22 การเคลื่อนที่ในย่านทดสอบ

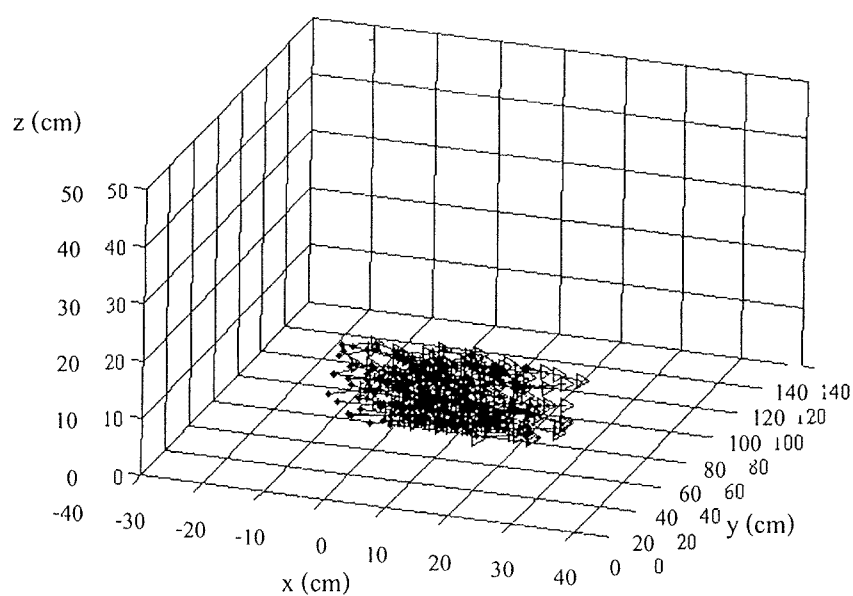
- การเคลื่อนที่ของวัตถุตามแนวการเคลื่อนที่ 11 ดังแสดงในรูปที่ 4.23 ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 4.24 รูปที่ 4.25 และรูปที่ 4.26



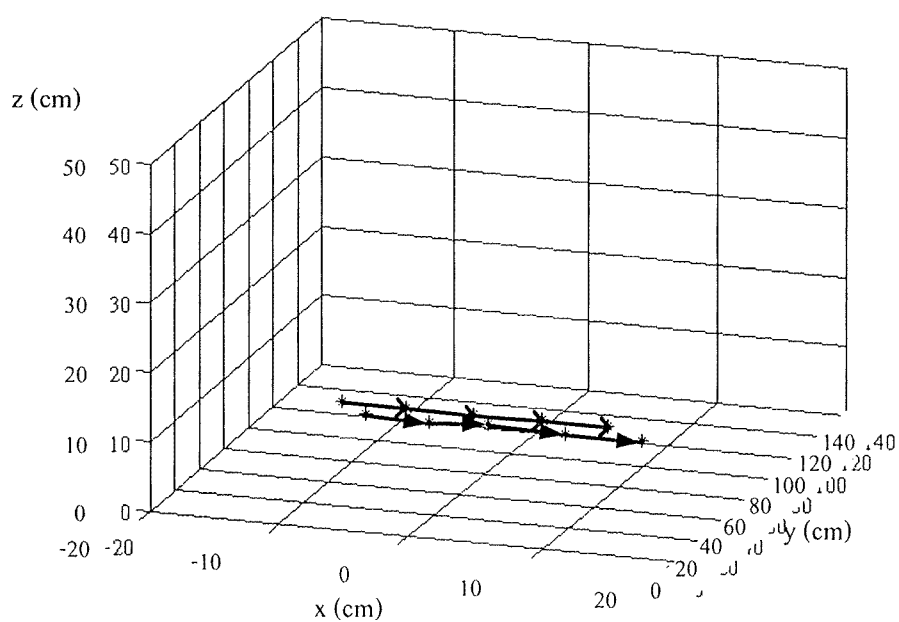
รูปที่ 4.23 การเคลื่อนที่ของวัตถุตามแนวการเคลื่อนที่ 11 (ก) ตำแหน่งที่ 1 (ข) ตำแหน่งที่ 2 (ค) ตำแหน่งที่ 3 (ง) ตำแหน่งที่ 4 (จ) ตำแหน่งที่ 5



รูปที่ 4.24 กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 11 โดย “o” เป็นจุดเริ่มต้น “*” เป็นจุดที่ 2 “+” เป็นจุดที่ 3 “x” เป็นจุดที่ 4 “.” เป็นจุดที่ 5

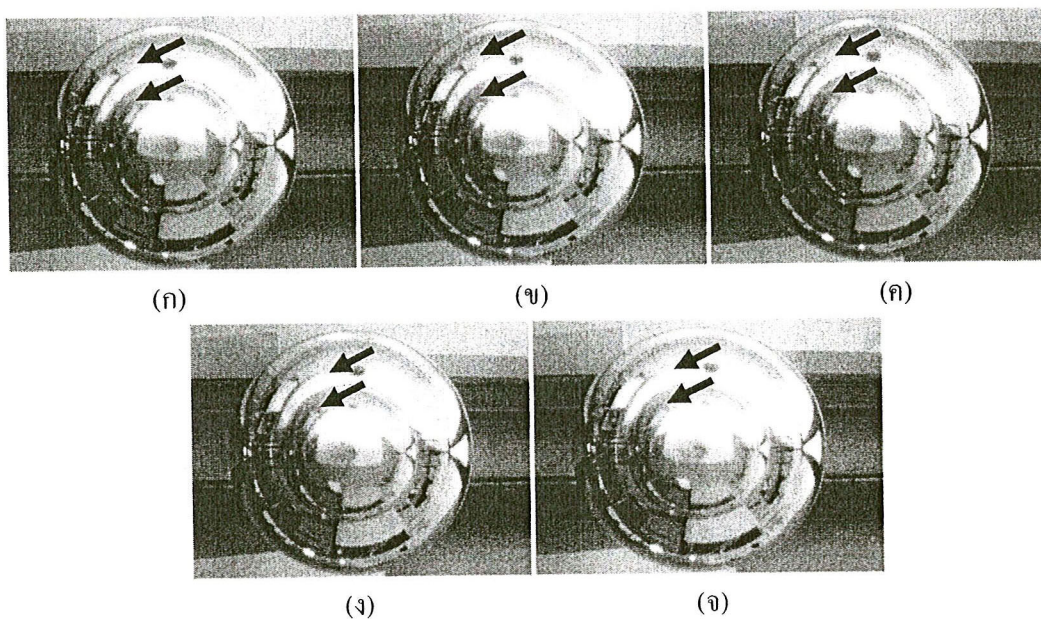


รูปที่ 4.25 เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 11

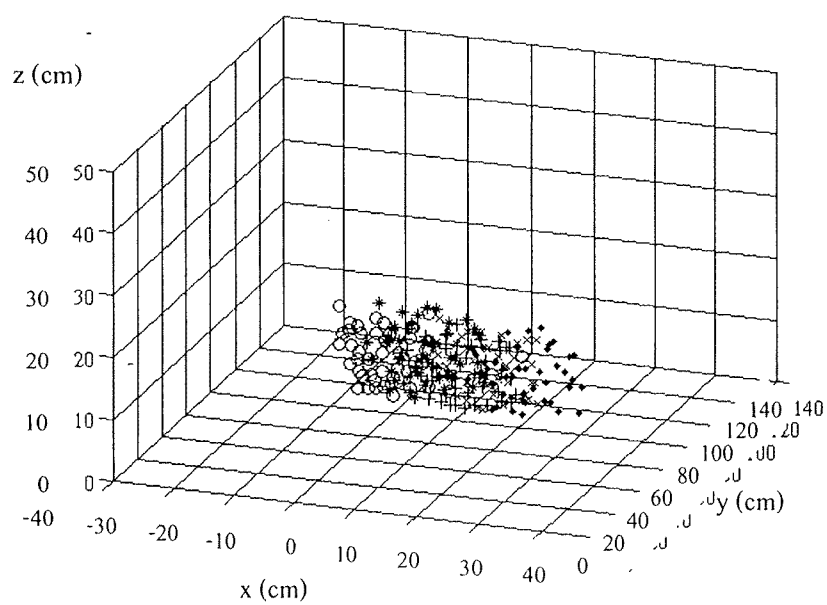


รูปที่ 4.26 เวกเตอร์เปรียบเทียบระหว่างเวกเตอร์จริง ($\rightarrow$)
กับเวกเตอร์จากการไหลเชิงแสง ($\rightarrow$)

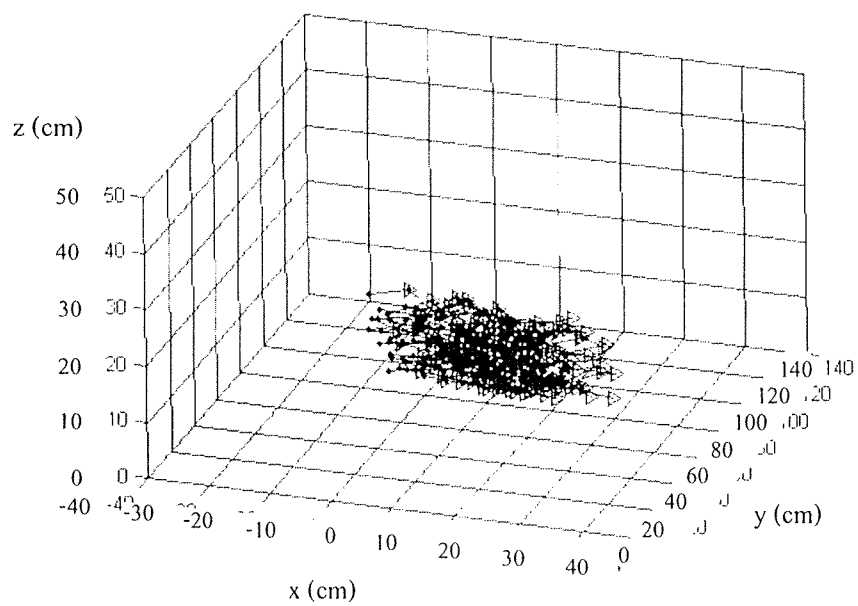
- การเคลื่อนที่ของวัตถุตามแนวการเคลื่อนที่ 12 ดังแสดงในรูปที่ 4.27 ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 4.28 รูปที่ 4.29 และรูปที่ 4.30



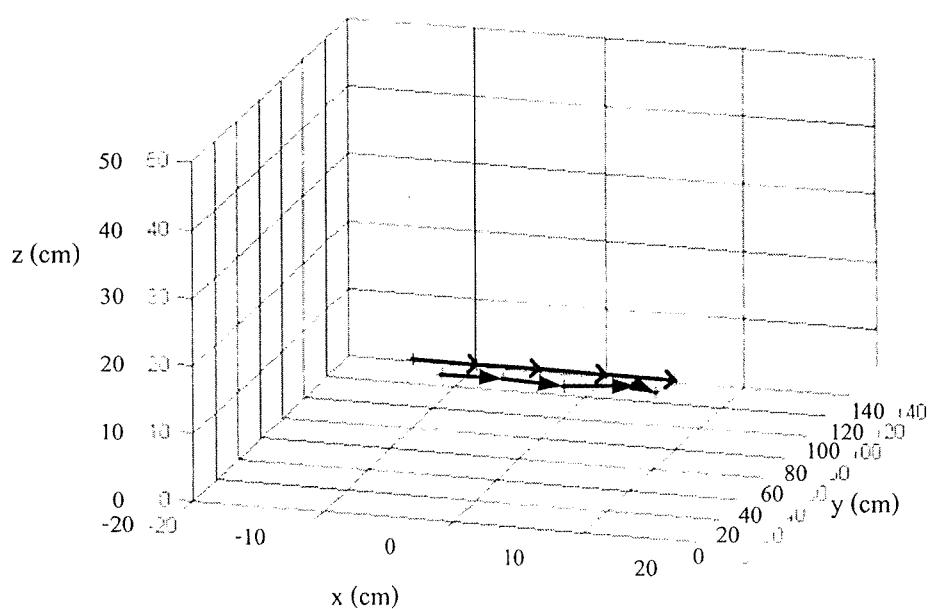
รูปที่ 4.27 การเคลื่อนที่ของวัตถุตามแนวการเคลื่อนที่ 12 (ก) ตำแหน่งที่ 1 (ข) ตำแหน่งที่ 2
(ข) ตำแหน่งที่ 3 (ง) ตำแหน่งที่ 4 (จ) ตำแหน่งที่ 5



รูปที่ 4.28 กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 12 โดย “o” เป็นจุดเริ่มต้น
 “*” เป็นจุดที่ 2 “+” เป็นจุดที่ 3 “x” เป็นจุดที่ 4 “•” เป็นจุดที่ 5

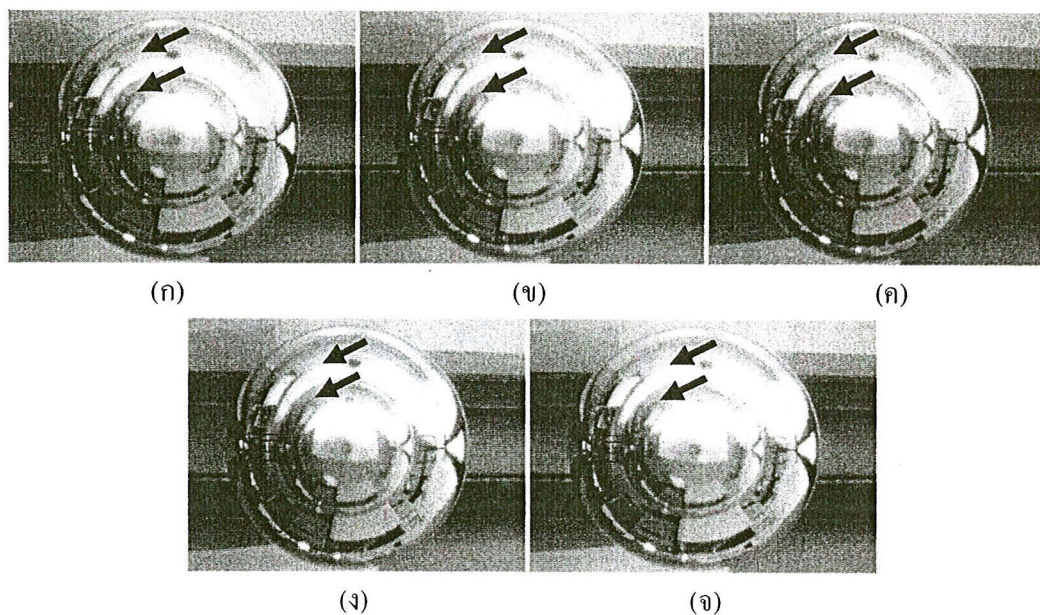


รูปที่ 4.29 เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 12

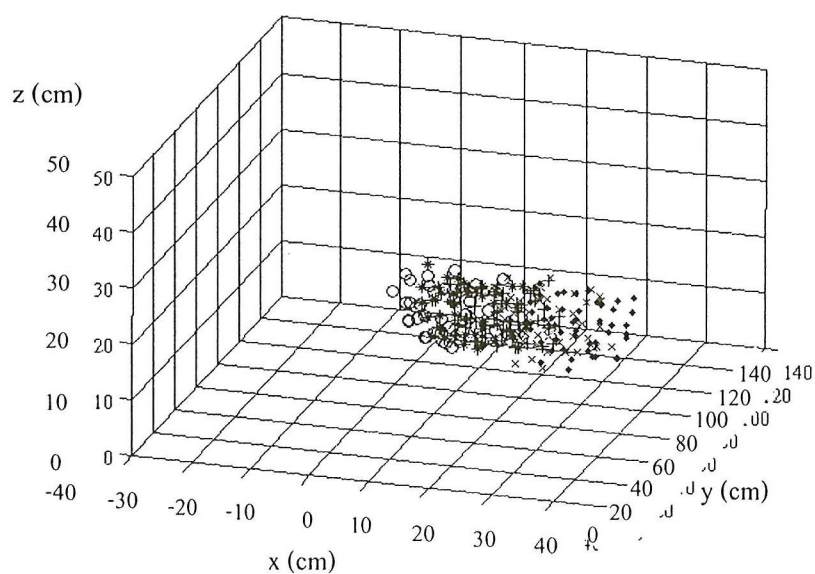


รูปที่ 4.30 เวกเตอร์เปรียบเทียบระหว่างเวกเตอร์จริง ($\rightarrow$)
กับเวกเตอร์จากการไหลเชิงแสง ($\rightarrow$)

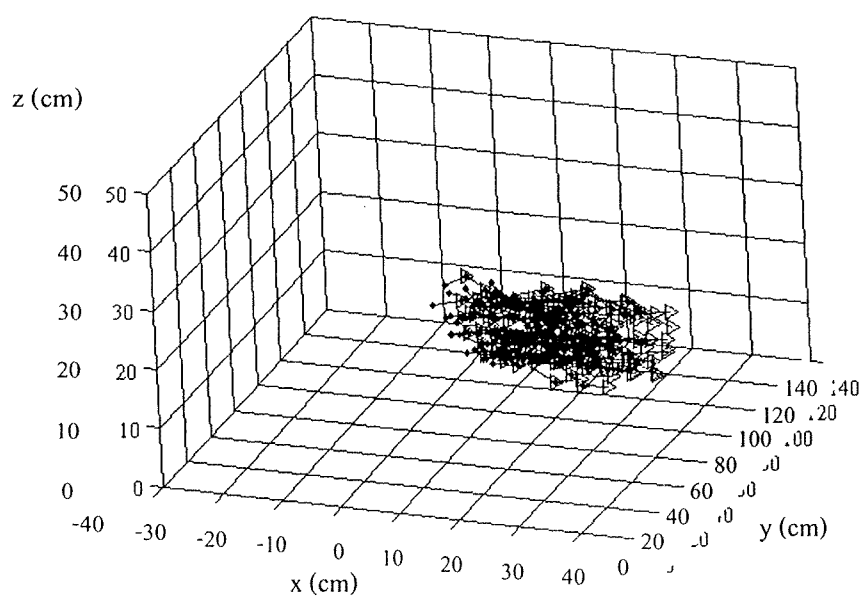
- การเคลื่อนที่ของวัตถุตามแนวการเคลื่อนที่ 13 ดังแสดงในรูปที่ 4.31 ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 4.32 รูปที่ 4.33 และรูปที่ 4.34



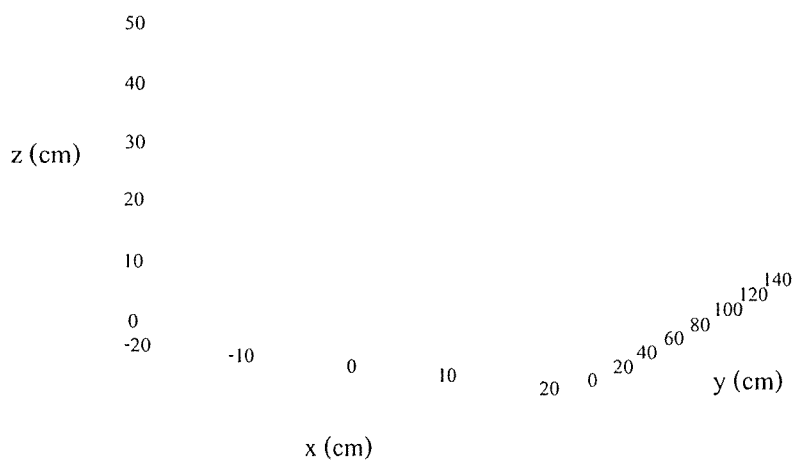
รูปที่ 4.31 การเคลื่อนที่ของวัตถุตามแนวการเคลื่อนที่ 13 (ก) ตำแหน่งที่ 1 (ข) ตำแหน่งที่ 2 (ค) ตำแหน่งที่ 3 (ง) ตำแหน่งที่ 4 (จ) ตำแหน่งที่ 5



รูปที่ 4.32 กราฟทิศทางเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 13 โดย “o” เป็นจุดเริ่มต้น “*” เป็นจุดที่ 2 “+” เป็นจุดที่ 3 “x” เป็นจุดที่ 4 “•” เป็นจุดที่ 5



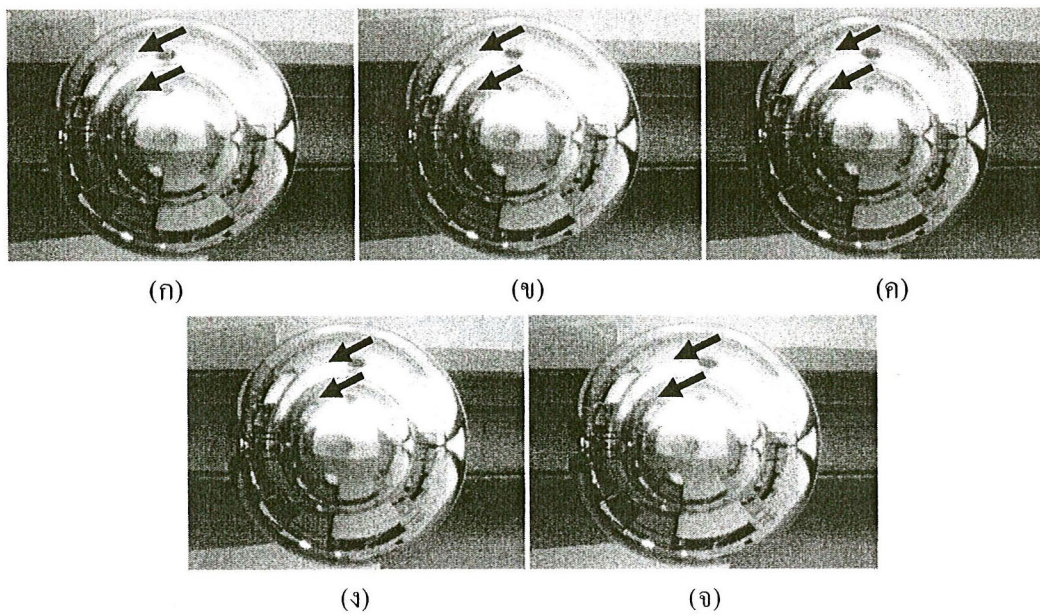
รูปที่ 4.33 เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 13



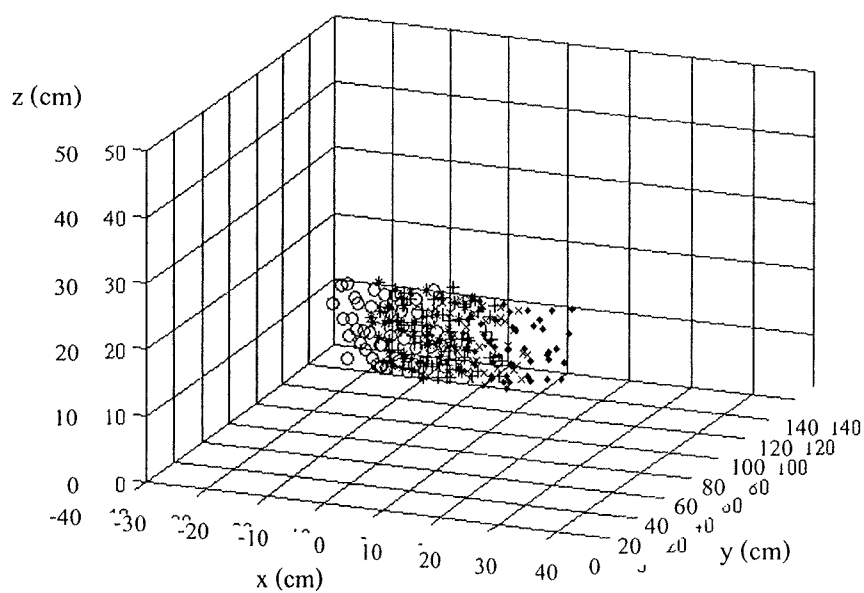
รูปที่ 4.34 เวกเตอร์เปรียบเทียบระหว่างเวกเตอร์จริง (→)

กับเวกเตอร์จากการไหลเชิงแสง (→)

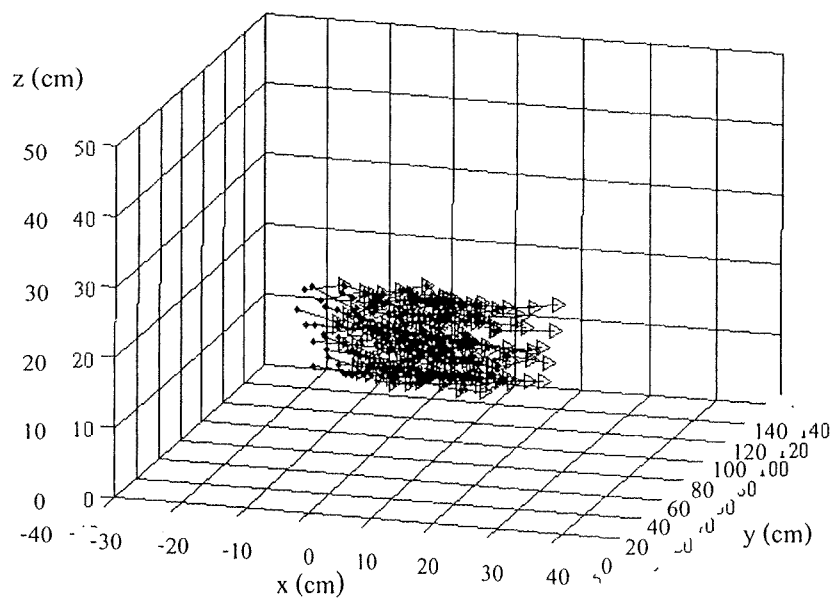
- การเคลื่อนที่ของวัตถุตามแนวการเคลื่อนที่ 21 ดังแสดงในรูปที่ 4.35 ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 4.36 รูปที่ 4.37 และรูปที่ 4.38



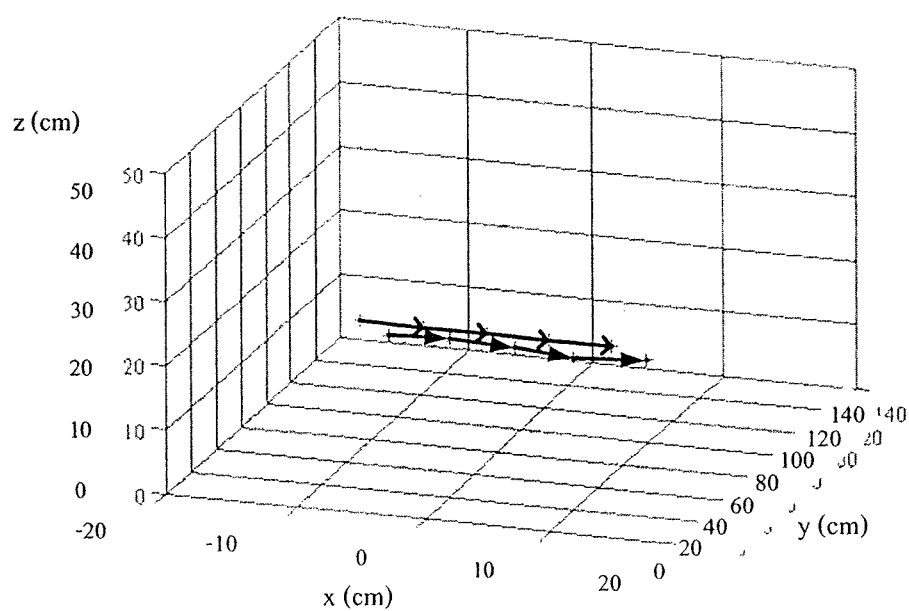
รูปที่ 4.35 การเคลื่อนที่ของวัตถุตามแนวการเคลื่อนที่ 21 (ก) ตำแหน่งที่ 1 (ข) ตำแหน่งที่ 2 (ค) ตำแหน่งที่ 3 (ง) ตำแหน่งที่ 4 (จ) ตำแหน่งที่ 5



รูปที่ 4.36 กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 21 โดย “o” เป็นจุดเริ่มต้น
 “*” เป็นจุดที่ 2 “+” เป็นจุดที่ 3 “x” เป็นจุดที่ 4 “•” เป็นจุดที่ 5

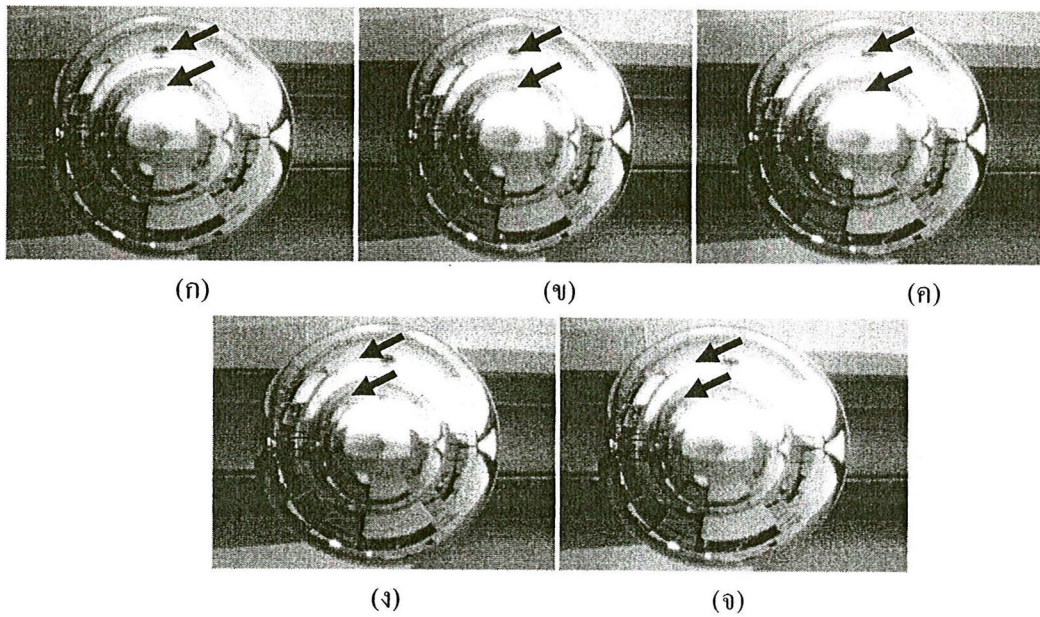


รูปที่ 4.37 เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 21

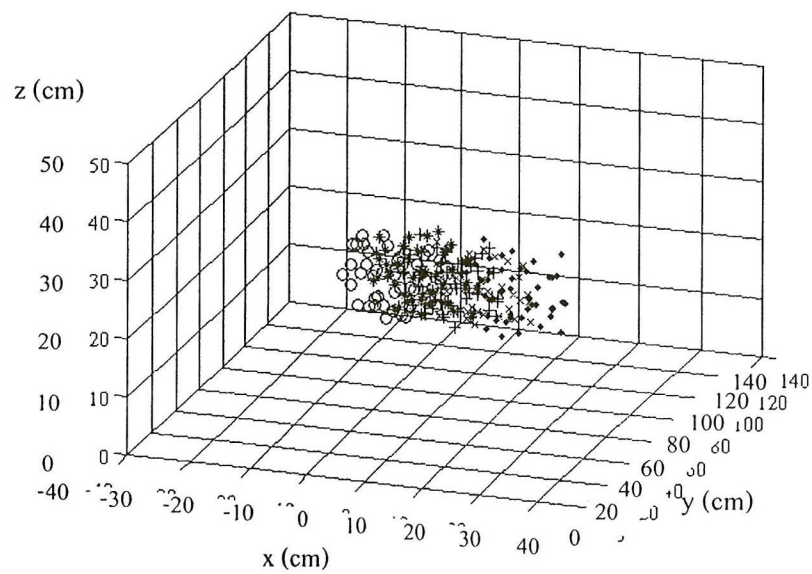


รูปที่ 4.38 เวกเตอร์เปรียบเทียบระหว่างเวกเตอร์จริง ($\rightarrow$)
กับเวกเตอร์จากการไหลเชิงแสง ($\rightarrow$)

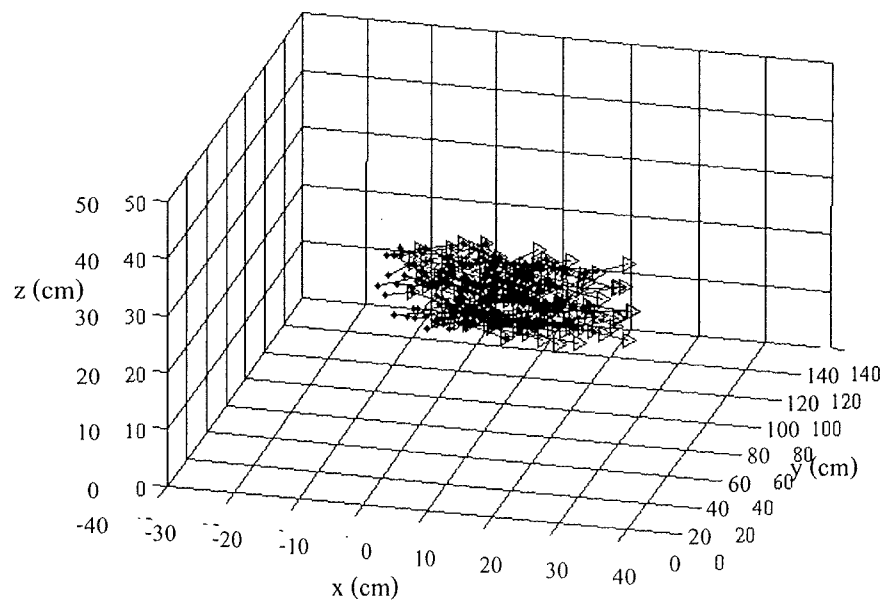
- การเคลื่อนที่ของวัตถุตามแนวการเคลื่อนที่ 22 ดังแสดงในรูปที่ 4.39 ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 4.40 รูปที่ 4.41 และรูปที่ 4.42



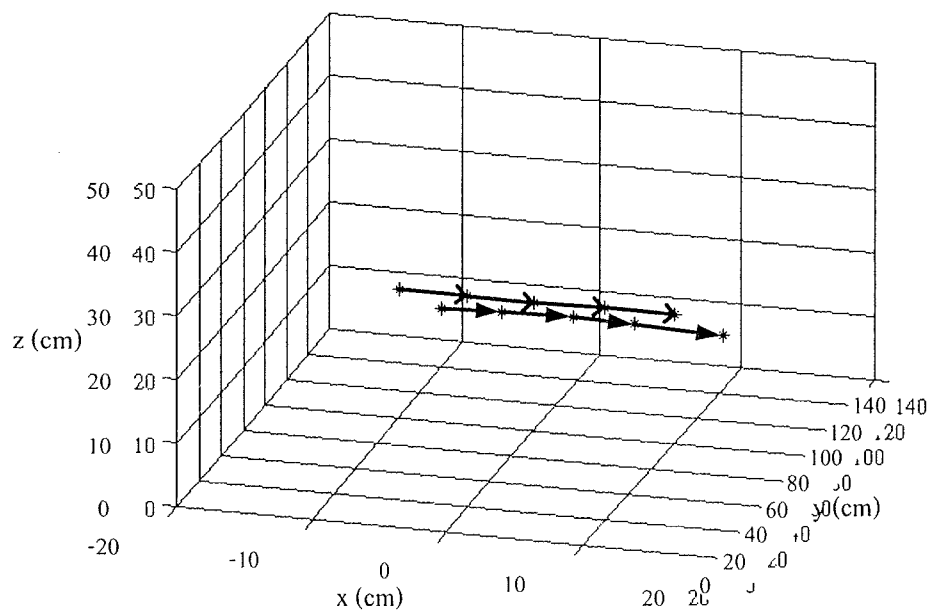
รูปที่ 4.39 การเคลื่อนที่ของวัตถุตามแนวการเคลื่อนที่ 22 (ก) ตำแหน่งที่ 1 (ข) ตำแหน่งที่ 2 (ค) ตำแหน่งที่ 3 (ง) ตำแหน่งที่ 4 (จ) ตำแหน่งที่ 5



รูปที่ 4.40 กราฟทิศทางเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 13 โดย “o” เป็นจุดเริ่มต้น “*” เป็นจุดที่ 2 “+” เป็นจุดที่ 3 “x” เป็นจุดที่ 4 “•” เป็นจุดที่ 5

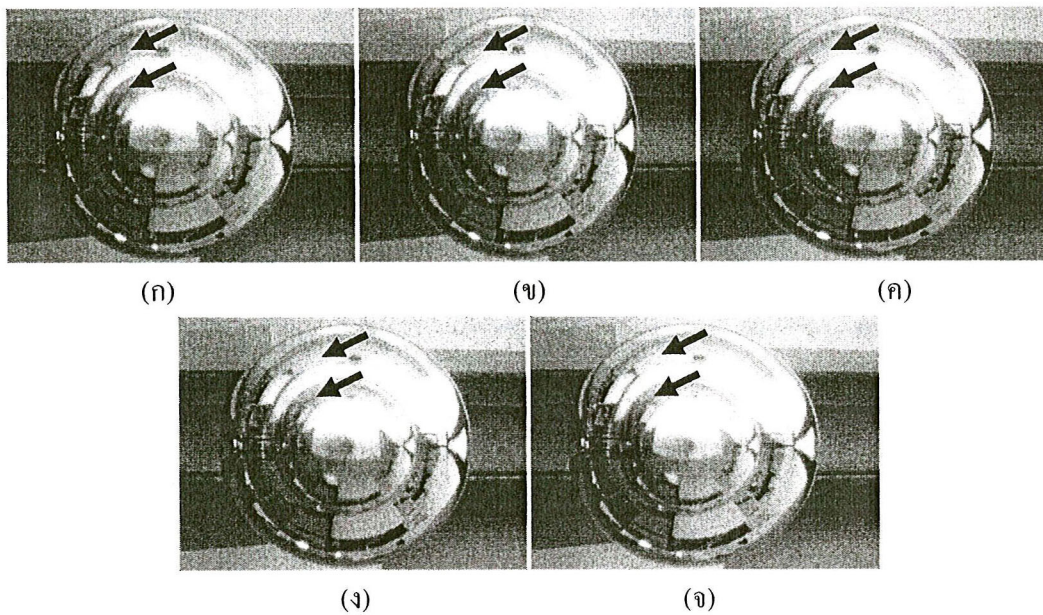


รูปที่ 4.41 เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 22

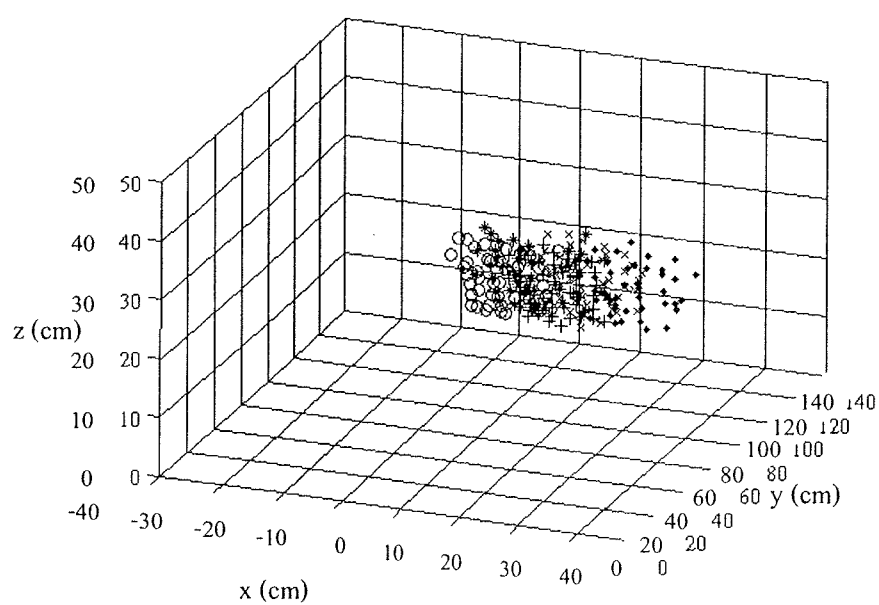


รูปที่ 4.42 เวกเตอร์เปรียบเทียบระหว่างเวกเตอร์จริง ($\rightarrow$)
กับเวกเตอร์จากการไหลเชิงแสง ($\rightarrow$)

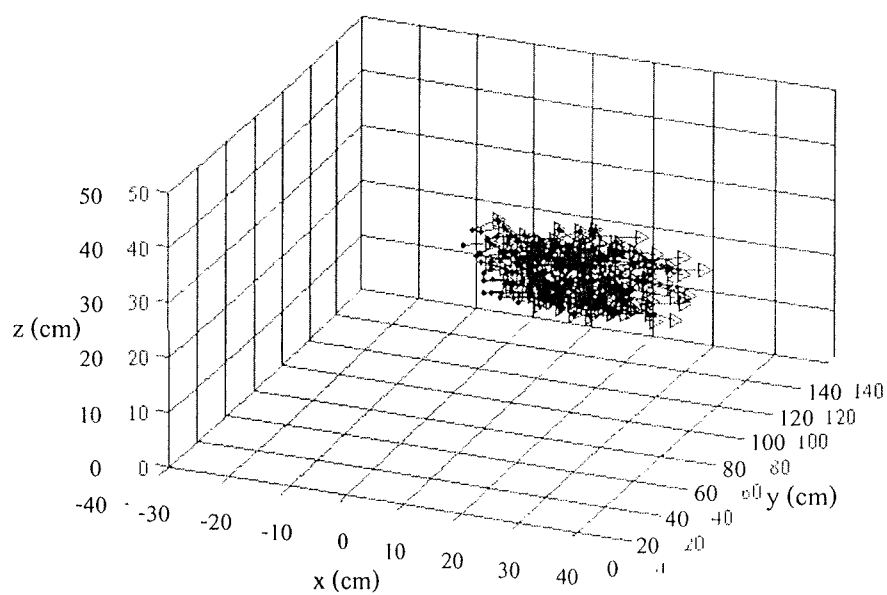
- การเคลื่อนที่ของวัตถุตามแนวการเคลื่อนที่ 23 ดังแสดงในรูปที่ 4.43 ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 4.44 รูปที่ 4.45 และรูปที่ 4.46



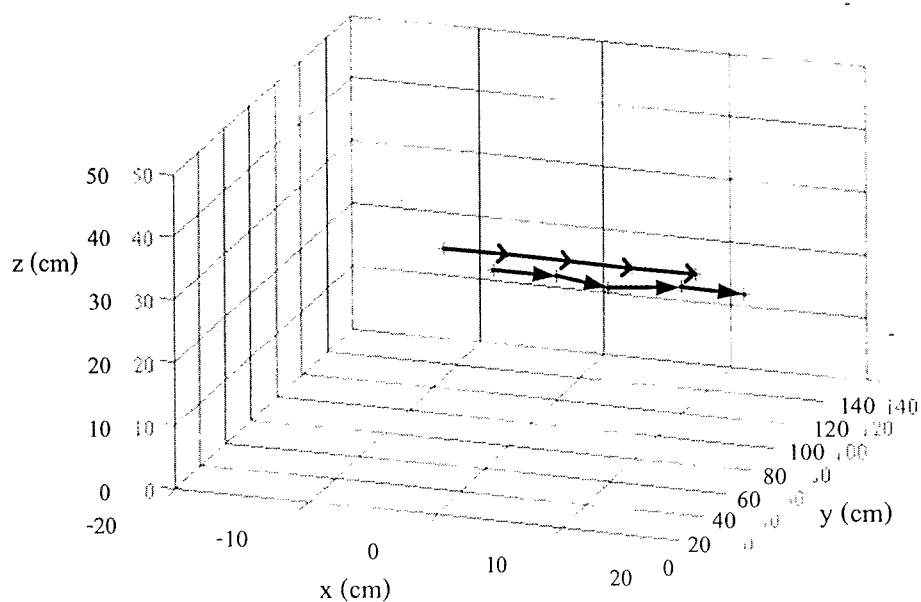
รูปที่ 4.43 การเคลื่อนที่ของวัตถุตามแนวการเคลื่อนที่ 23 (ก) ตำแหน่งที่ 1 (ข) ตำแหน่งที่ 2 (ค) ตำแหน่งที่ 3 (ง) ตำแหน่งที่ 4 (จ) ตำแหน่งที่ 5



รูปที่ 4.44 กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 23 โดย “o” เป็นจุดเริ่มต้น
 “*” เป็นจุดที่ 2 “+” เป็นจุดที่ 3 “x” เป็นจุดที่ 4 “•” เป็นจุดที่ 5

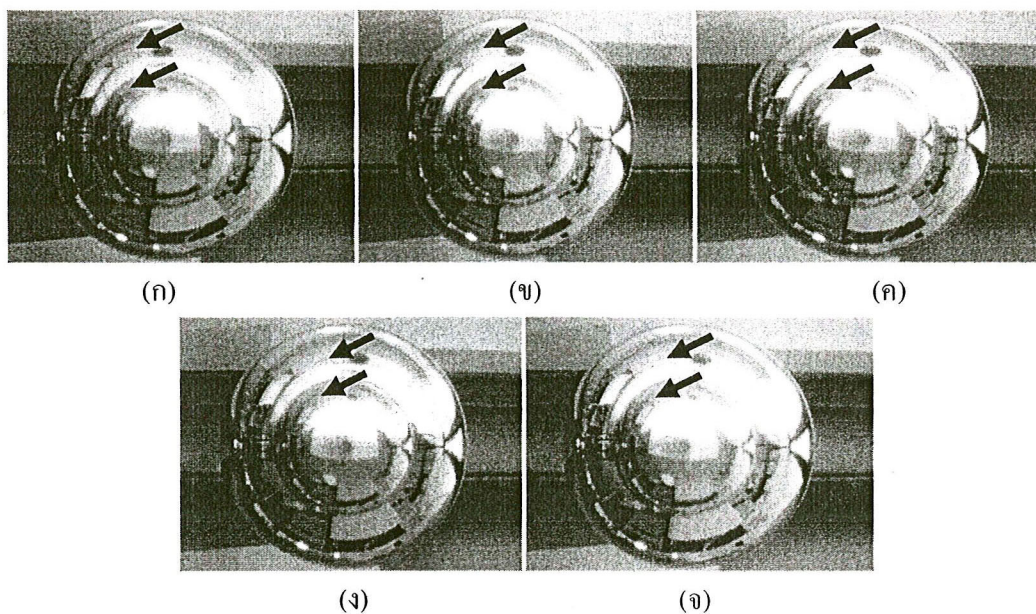


รูปที่ 4.45 เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 23

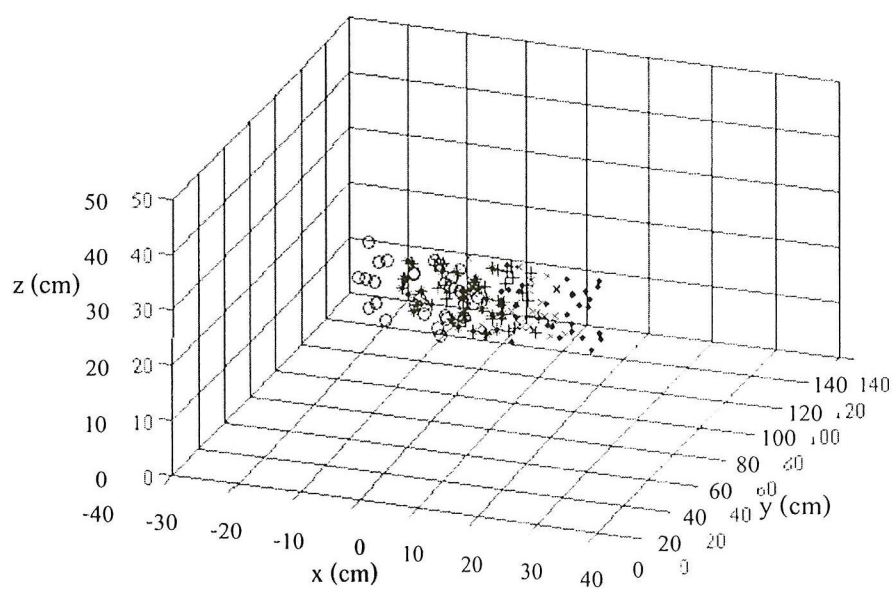


รูปที่ 4.46 เวกเตอร์เปรียบเทียบระหว่างเวกเตอร์จริง ($\rightarrow$)
กับเวกเตอร์จากการไหลเชิงแสง ($\rightarrow$)

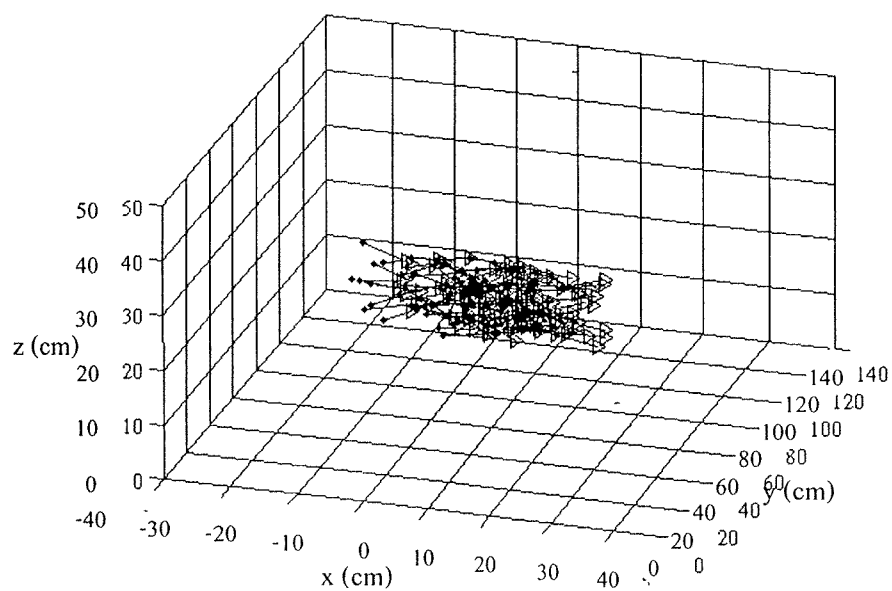
- การเคลื่อนที่ของวัตถุตามแนวการเคลื่อนที่ 31 ดังแสดงในรูปที่ 4.47 ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 4.48 รูปที่ 4.49 และรูปที่ 4.50



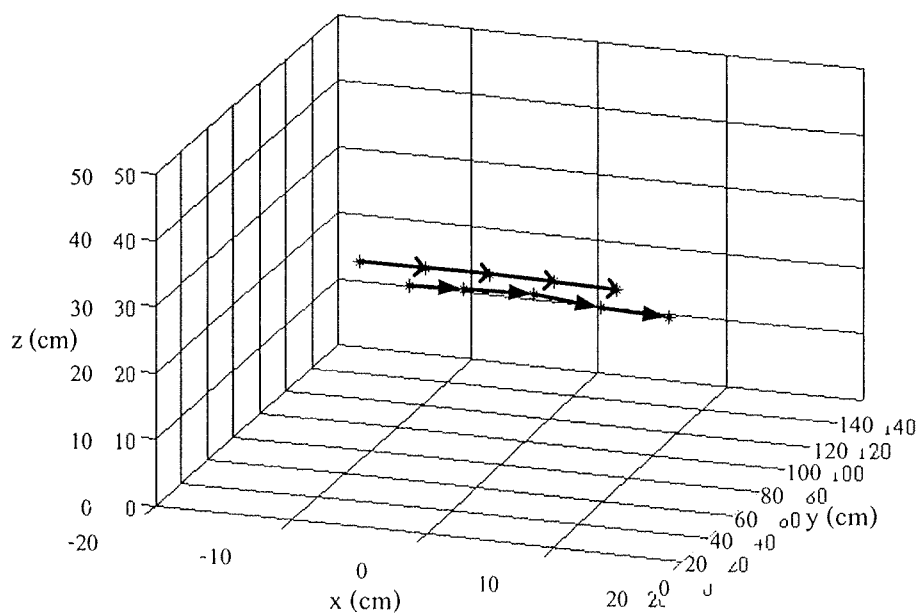
รูปที่ 4.47 การเคลื่อนที่ของวัตถุตามแนวการเคลื่อนที่ 31 (ก) ตำแหน่งที่ 1 (ข) ตำแหน่งที่ 2 (ค) ตำแหน่งที่ 3 (ง) ตำแหน่งที่ 4 (จ) ตำแหน่งที่ 5



รูปที่ 4.48 กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 31 โดย “o” เป็นจุดเริ่มต้น “*” เป็นจุดที่ 2 “+” เป็นจุดที่ 3 “x” เป็นจุดที่ 4 “•” เป็นจุดที่ 5

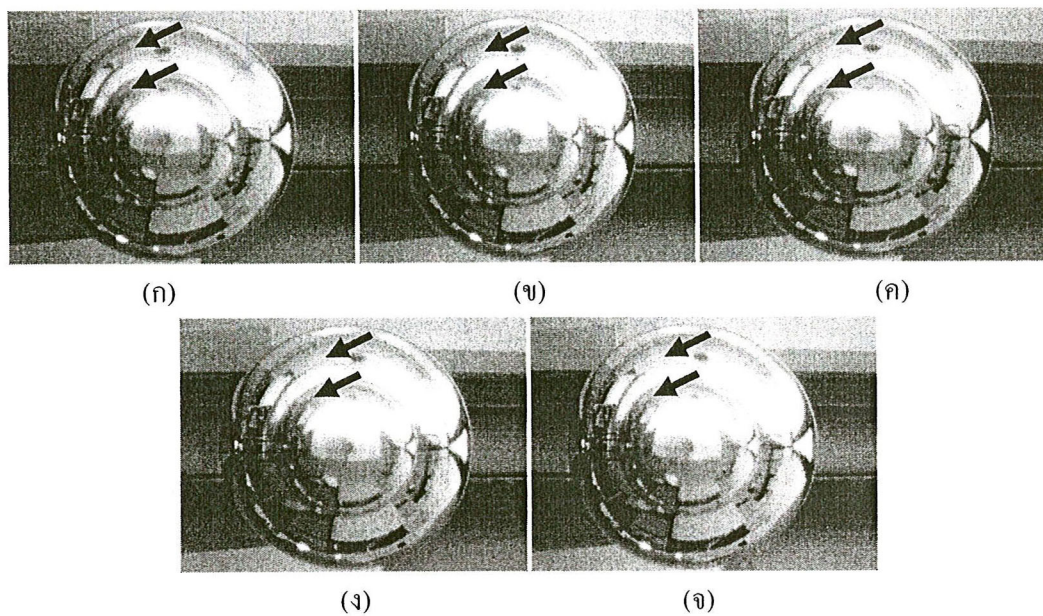


รูปที่ 4.49 เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 31

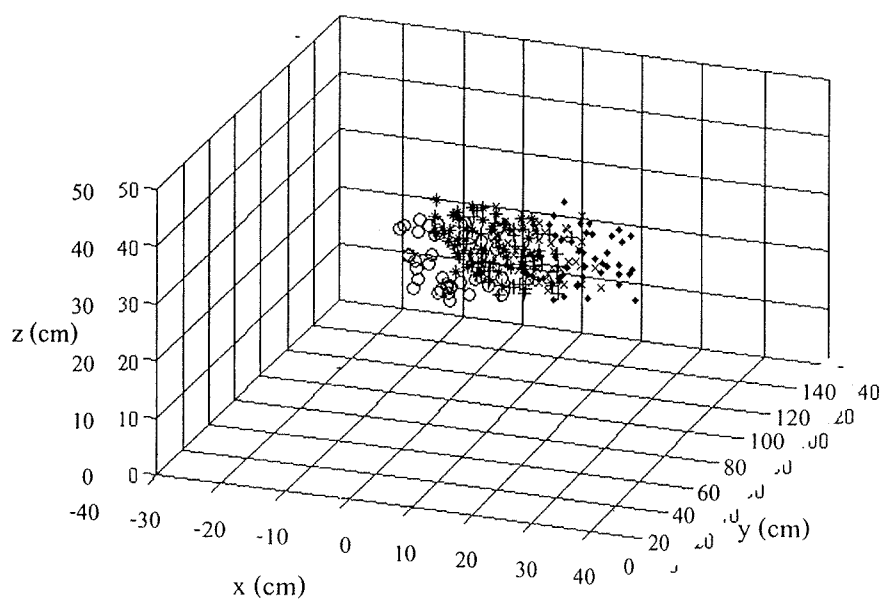


รูปที่ 4.50 เวกเตอร์เปรียบเทียบระหว่างเวกเตอร์จริง ($\rightarrow$)
กับเวกเตอร์จากการไหลเชิงแสง ($\rightarrow$)

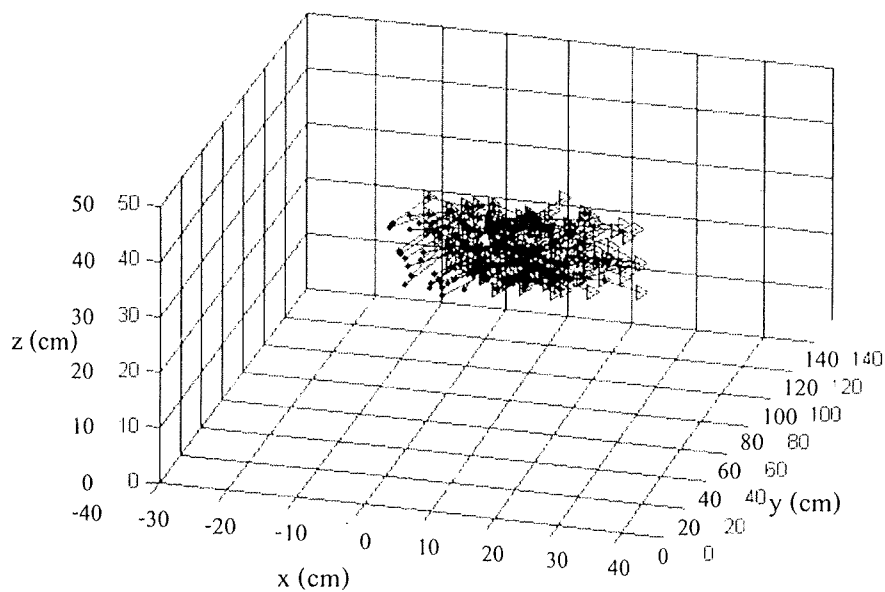
- การเคลื่อนที่ของวัตถุตามแนวการเคลื่อนที่ 32 ดังแสดงในรูปที่ 4.51 ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 4.52 รูปที่ 4.53 และรูปที่ 4.54



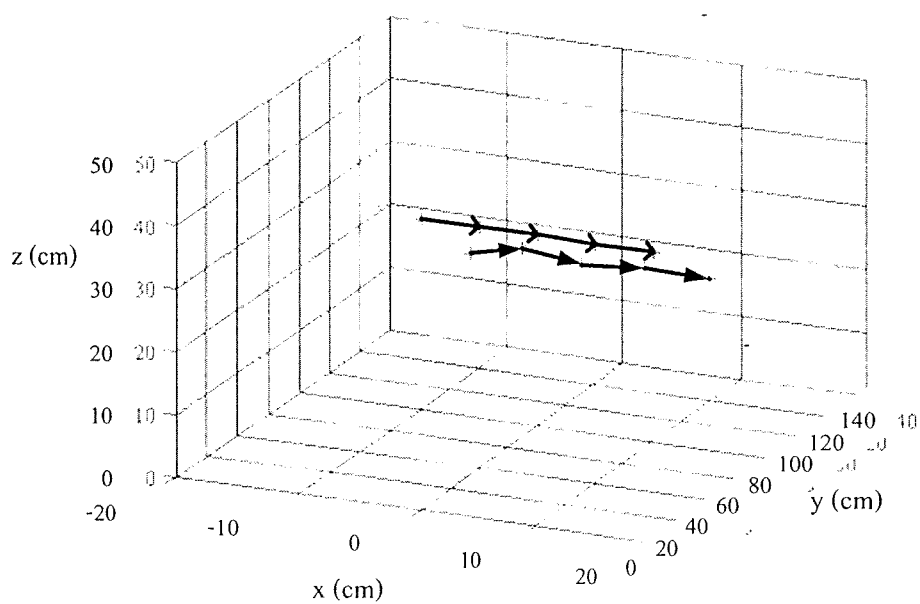
รูปที่ 4.51 การเคลื่อนที่ของวัตถุตามแนวการเคลื่อนที่ 32 (ก) ตำแหน่งที่ 1 (ข) ตำแหน่งที่ 2
(ค) ตำแหน่งที่ 3 (ง) ตำแหน่งที่ 4 (จ) ตำแหน่งที่ 5



รูปที่ 4.52 กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 32 โดย “o” เป็นจุดเริ่มต้น
 “*” เป็นจุดที่ 2 “+” เป็นจุดที่ 3 “x” เป็นจุดที่ 4 “•” เป็นจุดที่ 5

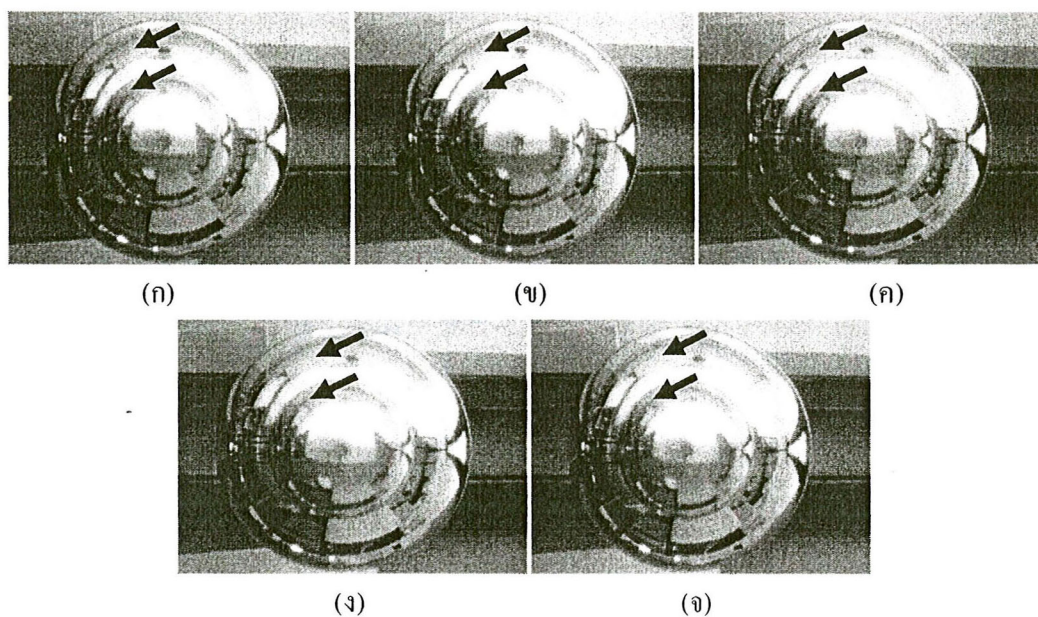


รูปที่ 4.53 เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 32

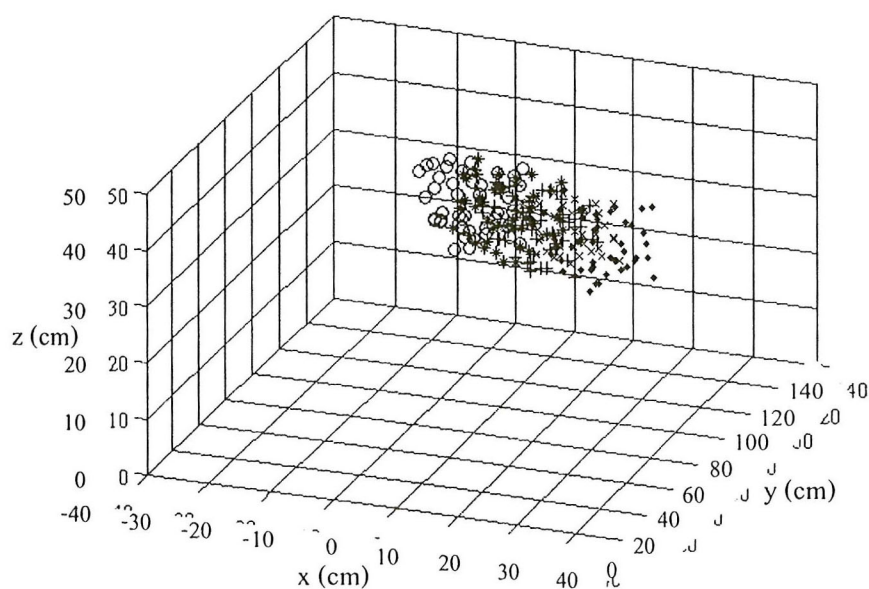


รูปที่ 4.54 เวกเตอร์เปรียบเทียบระหว่างเวกเตอร์จริง ($\rightarrow$)
กับเวกเตอร์จากไหลเชิงแสง ($\rightarrow$)

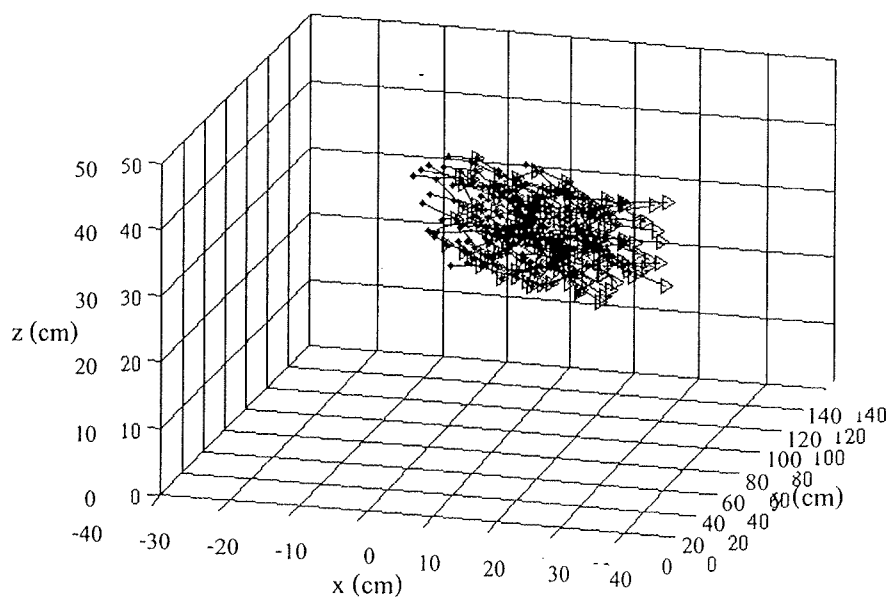
- การเคลื่อนที่ของวัตถุตามแนวการเคลื่อนที่ 33 ดังแสดงในรูปที่ 4.55 ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 4.56 รูปที่ 4.57 และรูปที่ 4.58



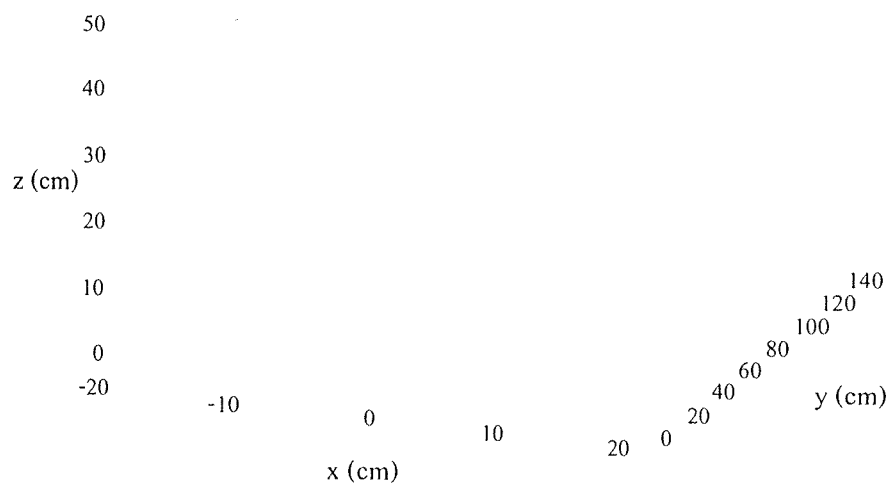
รูปที่ 4.55 การเคลื่อนที่ของวัตถุตามแนวการเคลื่อนที่ 33 (ก) ตำแหน่งที่ 1 (ข) ตำแหน่งที่ 2 (ค) ตำแหน่งที่ 3 (ง) ตำแหน่งที่ 4 (จ) ตำแหน่งที่ 5



รูปที่ 4.56 กราฟทิศทางเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 33 โดย “o” เป็นจุดเริ่มต้น “*” เป็นจุดที่ 2 “+” เป็นจุดที่ 3 “x” เป็นจุดที่ 4 “.” เป็นจุดที่ 5

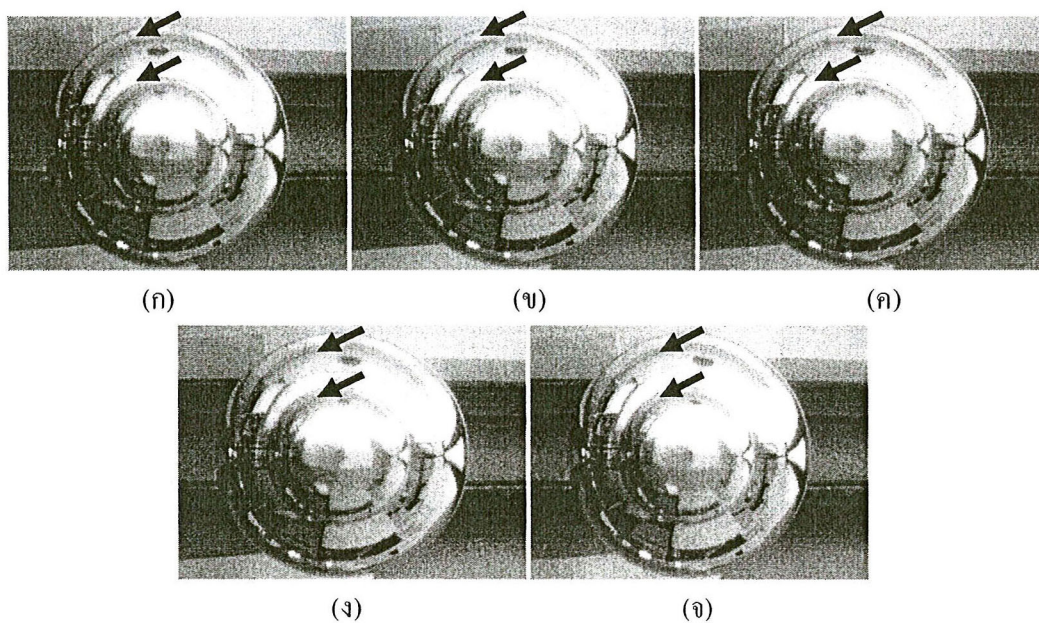


รูปที่ 4.57 เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 33

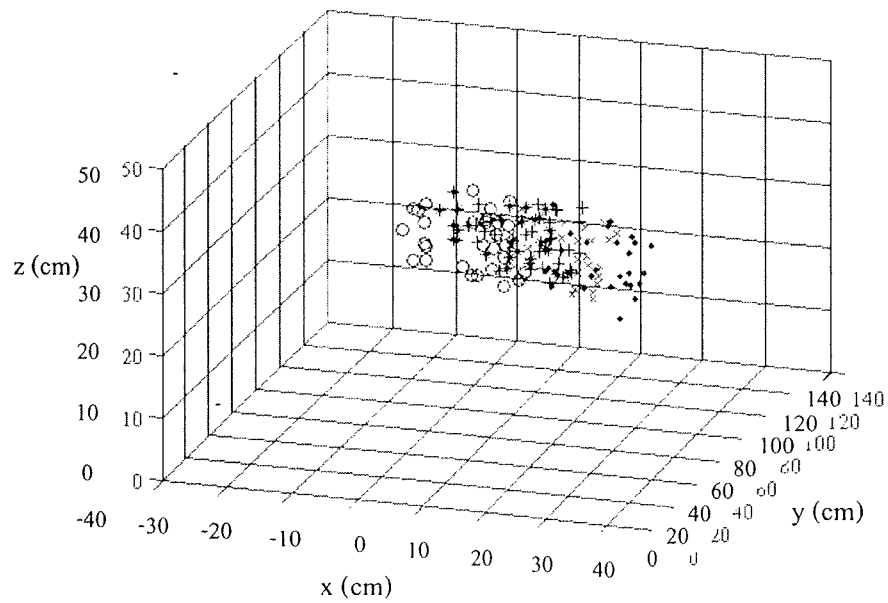


รูปที่ 4.58 เวกเตอร์เปรียบเทียบระหว่างเวกเตอร์จริง ($\rightarrow$)
กับเวกเตอร์จากการไหลเชิงแสง ($\rightarrow_r$)

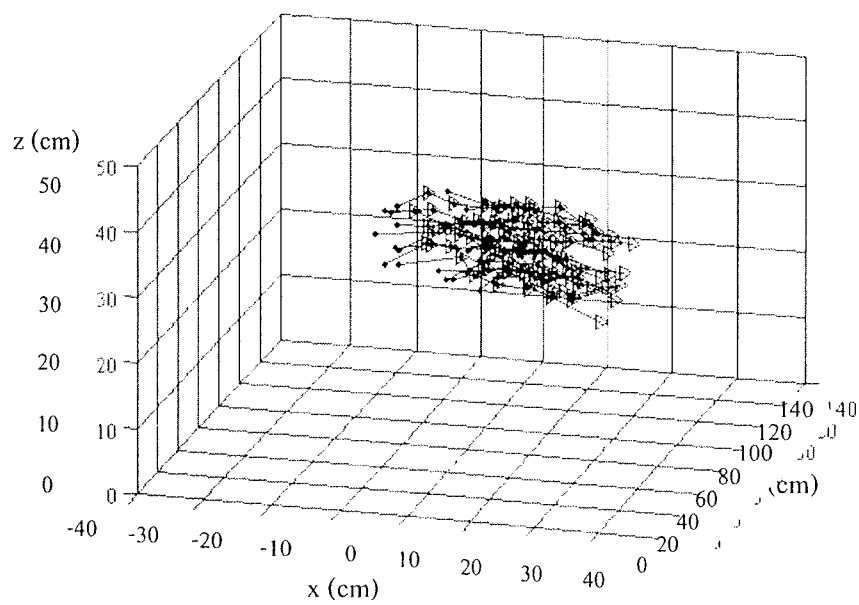
- เลื่อนที่ของวัตถุตามแนวการเคลื่อนที่ 41 ดังแสดงในรูปที่ 4.59 ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 4.60 รูปที่ 4.61 และรูปที่ 4.62



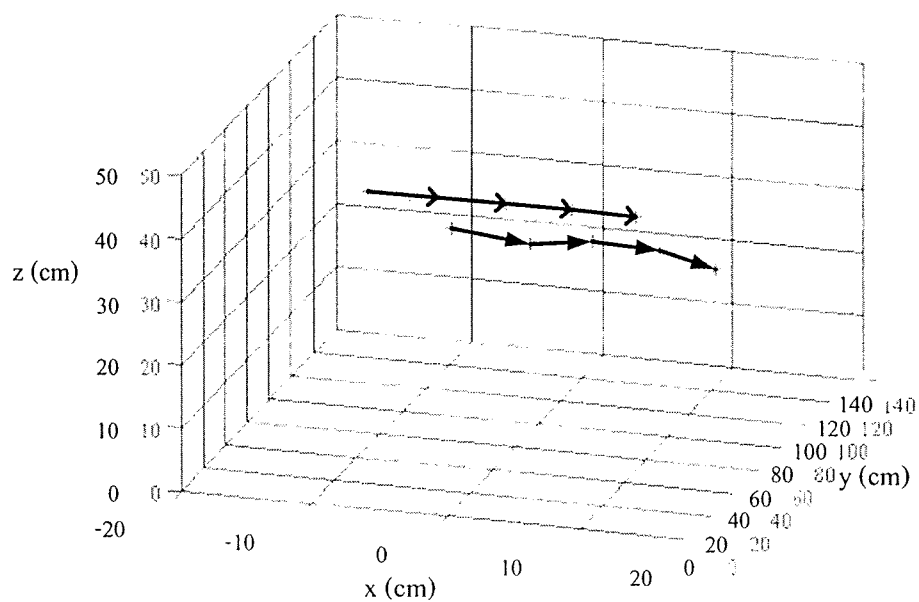
รูปที่ 4.59 การเคลื่อนที่ของวัตถุตามแนวการเคลื่อนที่ 41 (ก) ตำแหน่งที่ 1 (ข) ตำแหน่งที่ 2
(ค) ตำแหน่งที่ 3 (ง) ตำแหน่งที่ 4 (จ) ตำแหน่งที่ 5



รูปที่ 4.60 กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 41 โดย o เป็นจุดเริ่มต้น
 “*” เป็นจุดที่ 2 “+” เป็นจุดที่ 3 “x” เป็นจุดที่ 4 “•” เป็นจุดที่ 5

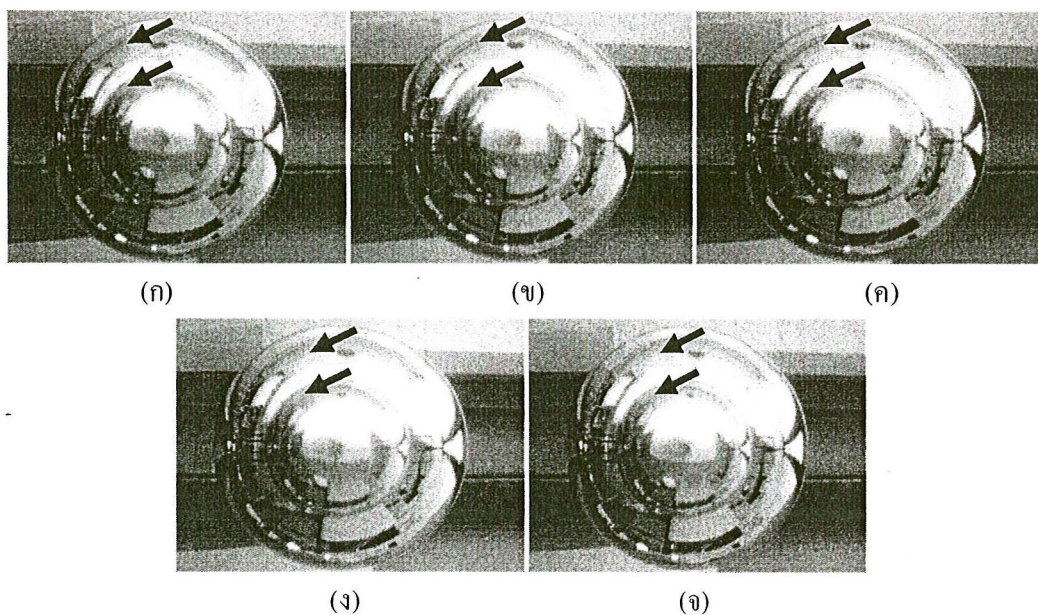


รูปที่ 4.61 เวกเตอร์การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 41

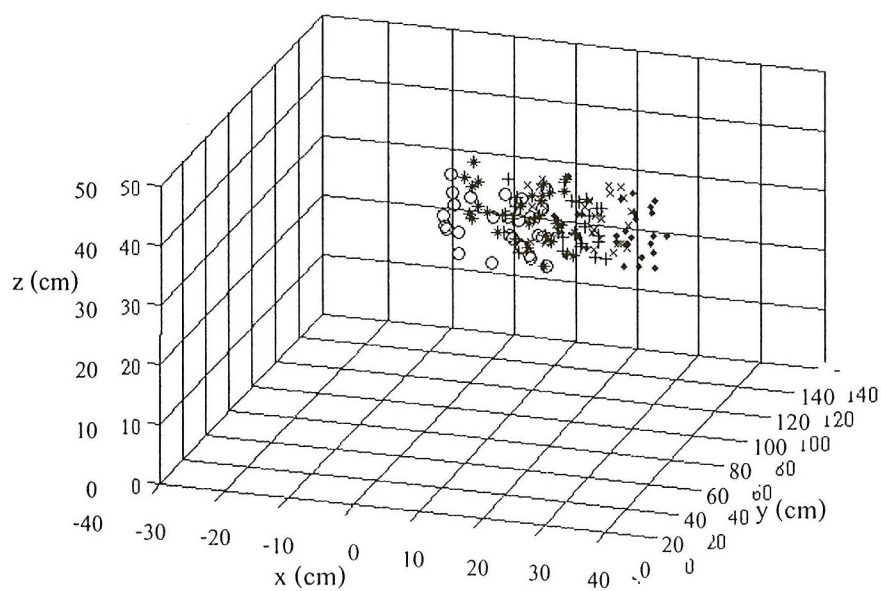


รูปที่ 4.62 เวกเตอร์เปรียบเทียบระหว่างเวกเตอร์จริง ($\rightarrow$)
กับเวกเตอร์จากการไหลเชิงแสง ($\rightarrow$)

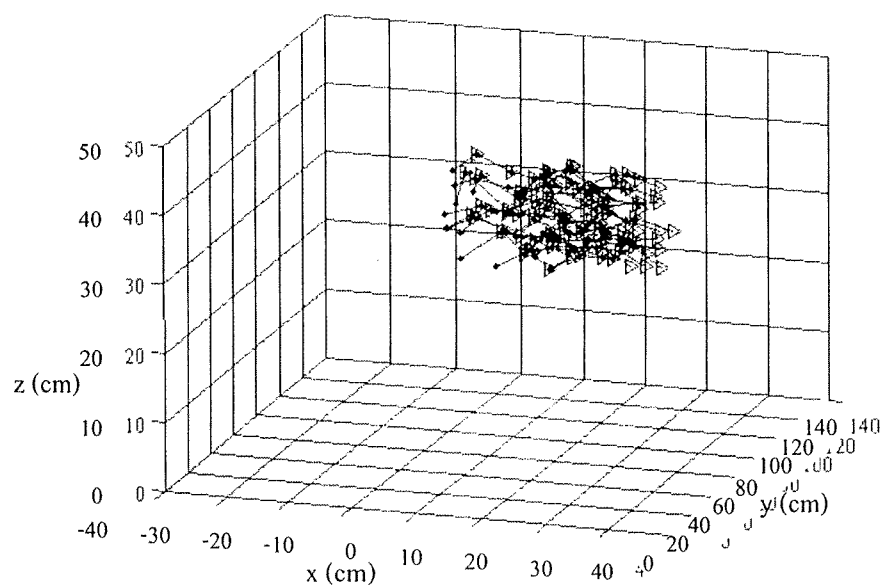
- การเคลื่อนที่ของวัตถุตามแนวการเคลื่อนที่ 42 ดังแสดงในรูปที่ 4.63 ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 4.64 รูปที่ 4.65 และรูปที่ 4.66



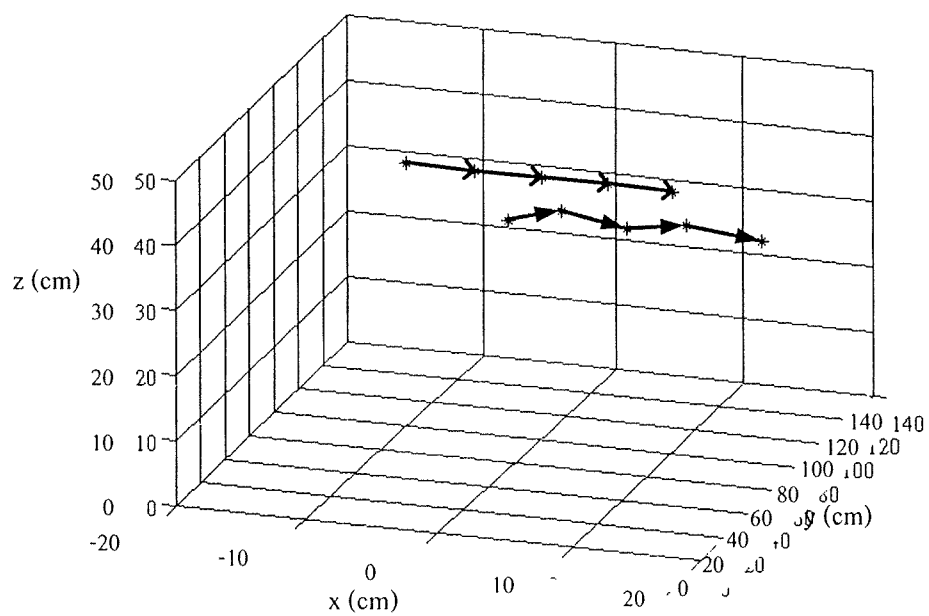
รูปที่ 4.63 การเคลื่อนที่ของวัตถุตามแนวการเคลื่อนที่ 42 (ก) ตำแหน่งที่ 1 (ข) ตำแหน่งที่ 2 (ค) ตำแหน่งที่ 3 (ง) ตำแหน่งที่ 4 (จ) ตำแหน่งที่ 5



รูปที่ 4.64 กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 42 โดย “o” เป็นจุดเริ่มต้น “*” เป็นจุดที่ 2 “+” เป็นจุดที่ 3 “x” เป็นจุดที่ 4 “•” เป็นจุดที่ 5

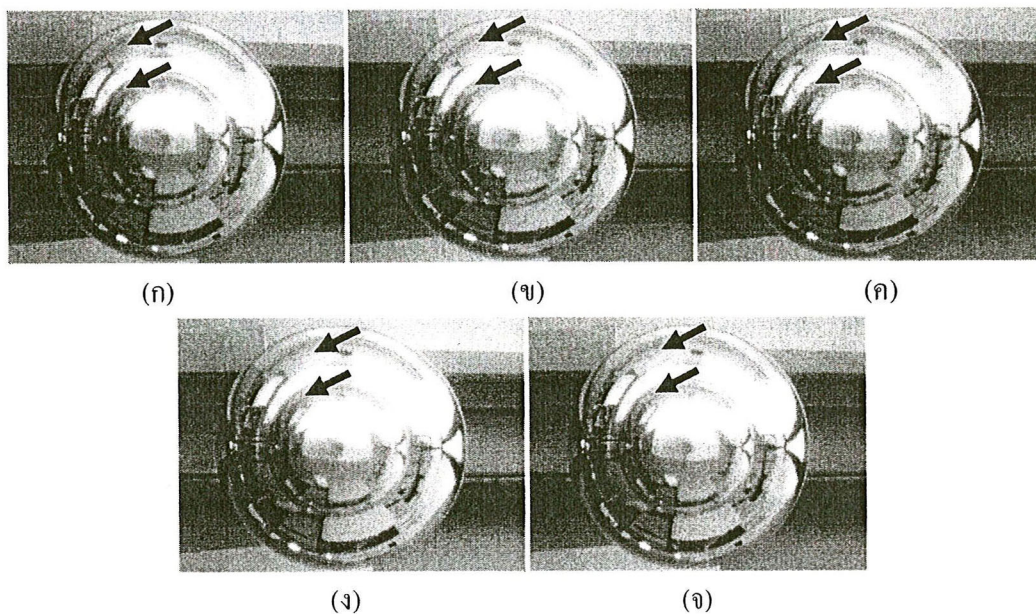


รูปที่ 4.65 กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 42

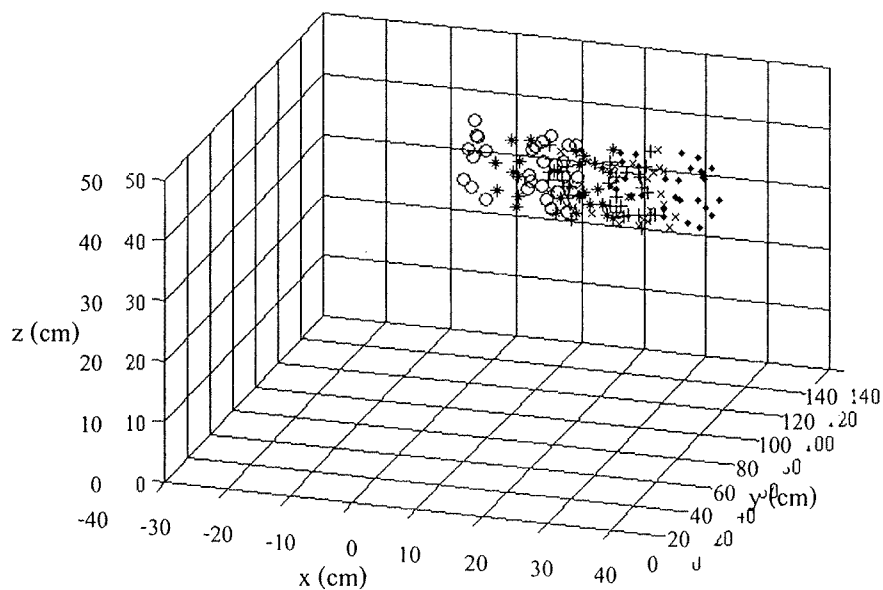


รูปที่ 4.66 เวกเตอร์เปรียบเทียบระหว่างเวกเตอร์จริง ($\rightarrow$)
กับเวกเตอร์จากการไหลเชิงแสง ($\rightarrow$)

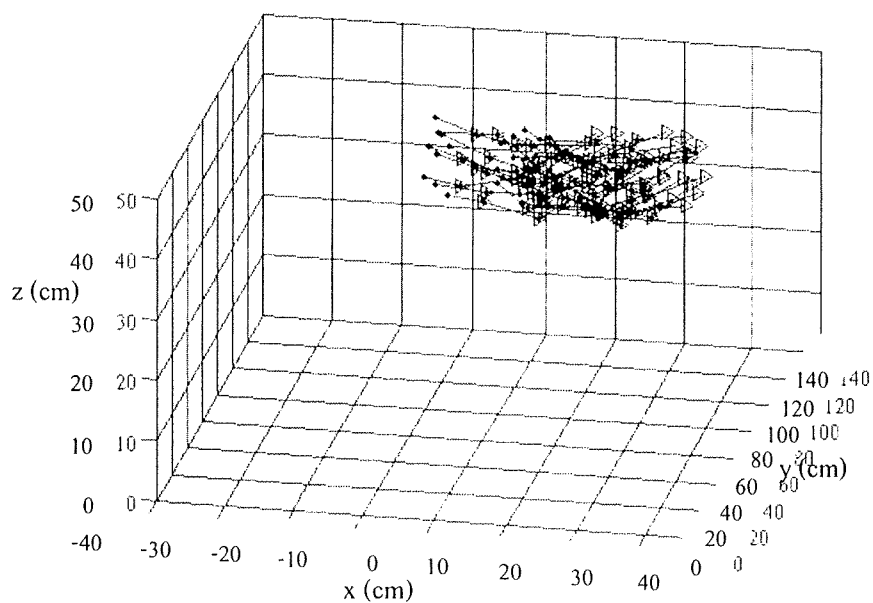
- การเคลื่อนที่ของวัตถุตามแนวการเคลื่อนที่ 43 ดังแสดงในรูปที่ 4.67 ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 4.68 รูปที่ 4.69 และรูปที่ 4.70



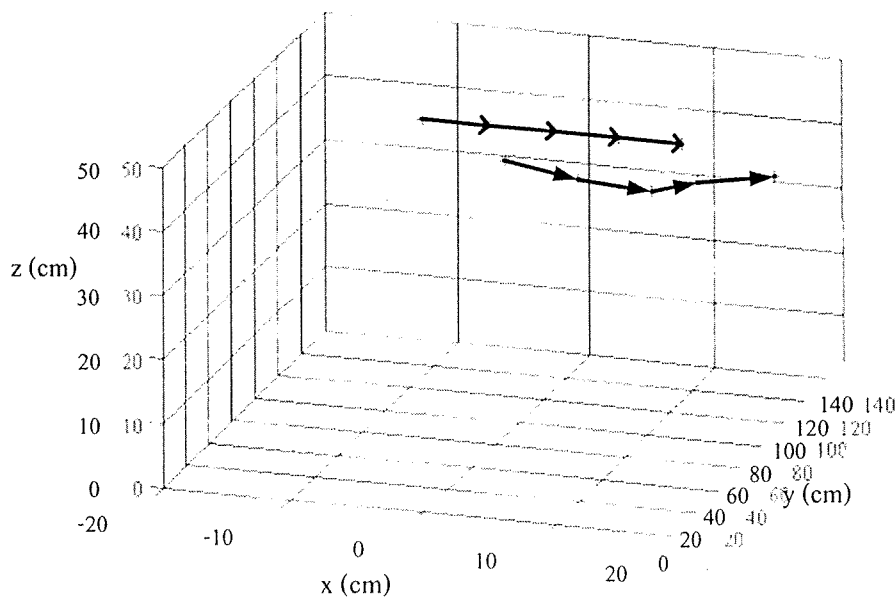
รูปที่ 4.67 การเคลื่อนที่ของวัตถุตามแนวการเคลื่อนที่ 43 (ก) ตำแหน่งที่ 1 (ข) ตำแหน่งที่ 2
(ค) ตำแหน่งที่ 3 (ง) ตำแหน่งที่ 4 (จ) ตำแหน่งที่ 5



รูปที่ 4.68 กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 43 โดย “o” เป็นจุดเริ่มต้น
 “*” เป็นจุดที่ 2 “+” เป็นจุดที่ 3 “x” เป็นจุดที่ 4 “•” เป็นจุดที่ 5



รูปที่ 4.69 กราฟทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ 43



รูปที่ 4.70 เวกเตอร์เปรียบเทียบระหว่างเวกเตอร์จริง ($\rightarrow$)

กับเวกเตอร์จากการไหลเชิงแสง ($\rightarrow$)

4.5 ตารางผลการทดสอบตอนที่ 4.3

จากการทดลองที่ 4.3 สามารถแสดงตำแหน่งของวัตถุทดสอบได้ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ถึงตารางที่ 4.3 โดยค่าความผิดพลาดของตำแหน่งของวัตถุทดสอบหาได้จากการเปรียบเทียบตำแหน่งพิกัดเฉลี่ยของพื้นผิววัตถุทดสอบกับพิกัดเฉลี่ยที่คำนวณได้ของวัตถุทดสอบ

ตารางที่ 4.1 ทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X

ลำดับการเคลื่อนที่	พิกัดเฉลี่ยของพื้นผิววัตถุทดสอบ (cm)	พิกัดเฉลี่ยที่คำนวณได้ของวัตถุทดสอบ (cm)	ค่าความผิดพลาด (cm)
1	(-5,51.23,10)	(-6.55,52.92,8.17)	(1.55,1.69,1.83)
2	(0,51.23,10)	(-1.12,53.31,8.71)	(1.12,2.08,1.29)
3	(5,51.23,10)	(4.03,54.14,8.12)	(0.97,2.91,1.88)
4	(10,51.23,10)	(8.75,52.9,7.53)	(1.25,1.67,2.47)

ตารางที่ 4.2 ทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวแกน Z

ลำดับการเคลื่อนที่	พิกัดเฉลี่ยของวัตถุทดสอบ (cm)	พิกัดเฉลี่ยที่คำนวณได้ของวัตถุทดสอบ (cm)	ค่าความผิดพลาด (cm)
1	(0,51.23,10)	(-1.21,53.16,8.12)	(1.21,1.93,1.88)
2	(0,51.23,15)	(-0.94,52.92,12.71)	(0.94,1.69,2.29)
3	(0,51.23,20)	(-1.46,55.32,18.96)	(1.46,4.09,1.04)
4	(0, 51.23,25)	(-1.32,54.87,23.12)	(1.32,3.64,1.88)

ตารางที่ 4.3 ทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวแกน XYZ

ลำดับการเคลื่อนที่	พิกัดเฉลี่ยของวัตถุทดสอบ (cm)	พิกัดเฉลี่ยที่คำนวณได้ของวัตถุทดสอบ (cm)	ค่าความผิดพลาด (cm)
1	(0,51.23,10)	(-1.34,53.31,8.11)	(1.34,2.08,1.89)
2	(3.6,54.83,15)	(2.46,57.52,14.14)	(1.14,2.69,0.86)
3	(7.2,58.43,20)	(6.05,60.18,17.85)	(1.15,1.75,2.15)
4	(10.8,62.03,25)	(9.56,65.21,22.04)	(1.24,3.18,2.96)

4.6 ตารางผลการทดสอบตอนที่ 4.4

จากการทดลองที่ 4.3 สามารถแสดงตำแหน่งของวัตถุทดสอบได้ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ถึงตารางที่ 4.15 โดยค่าความผิดพลาดของตำแหน่งของวัตถุทดสอบหาได้จากการเปรียบเทียบตำแหน่งของพิกัดเฉลี่ยของพื้นผิววัตถุทดสอบกับพิกัดเฉลี่ยที่คำนวณได้ของวัตถุทดสอบ

ตารางที่ 4.4 ทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวที่ 11

ลำดับการเคลื่อนที่	พิกัดเฉลี่ยของพื้นผิววัตถุทดสอบ (cm)	พิกัดเฉลี่ยที่คำนวณได้ของวัตถุทดสอบ (cm)	ค่าความผิดพลาด (cm)
1	(-10,51.23,10)	(-8.25,53.12,8.14)	(1.75,1.89,1.86)
2	(-5,51.23,10)	(-3.54,53.59,7.78)	(1.46,2.36,2.22)
3	(0,51.23,10)	(1.05,52.45,8.56)	(1.05,1.22,1.44)
4	(5,51.23,10)	(6.59,53.17,8.09)	(1.59,1.94,1.91)
5	(10,51.23,10)	(12.34,53.84,7.91)	(2.34,2.61,2.09)

ตารางที่ 4.5 ทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวที่ 12

ลำดับการเคลื่อนที่	พิกัดเฉลี่ยของพื้นผิววัตถุทดสอบ (cm)	พิกัดเฉลี่ยที่คำนวณได้ของวัตถุทดสอบ (cm)	ค่าความผิดพลาด (cm)
1	(-10,81.23,10)	(-7.94,84.21,7.51)	(2.06,2.98,2.49)
2	(-5,81.23,10)	(-3.14,83.87,7.65)	(1.86,2.64,2.35)
3	(0,81.23,10)	(1.52,84.05,7.34)	(1.52,2.82,2.63)
4	(5,81.23,10)	(7.12,84.55,8.12)	(2.12,3.32,1.88)
5	(10,81.23,10)	(8.29,83.92,7.46)	(1.71,2.69,2.54)

ตารางที่ 4.6 ทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวที่ 13

ลำดับการเคลื่อนที่	พิกัดเฉลี่ยของพื้นผิววัตถุทดสอบ (cm)	พิกัดเฉลี่ยที่คำนวณได้ของวัตถุทดสอบ (cm)	ค่าความผิดพลาด (cm)
1	(-10,111.23,10)	(-6.48,114.37,6.92)	(3.52,3.14,3.08)
2	(-5,111.23,10)	(-2.76,115.11,7.86)	(2.24,3.88,2.14)
3	(0,111.23,10)	(2.28,114.71,7.61)	(2.28,3.48,2.39)
4	(5,111.23,10)	(8.29,114.43,6.58)	(3.29,3.2,3.42)
5	(10,111.23,10)	(13.24,113.96,7.43)	(3.24,2.73,2.57)

ตารางที่ 4.7 ทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวที่ 21

ลำดับการเคลื่อนที่	พิกัดเฉลี่ยของพื้นผิววัตถุทดสอบ (cm)	พิกัดเฉลี่ยที่คำนวณได้ของวัตถุทดสอบ (cm)	ค่าความผิดพลาด (cm)
1	(-10,51.23,20)	(-7.95,53.74,17.65)	(2.05,2.51,2.35)
2	(-5,51.23,20)	(-3.23,54.16,18.07)	(1.77,2.93,1.93)
3	(0,51.23,20)	(2.15,53.56,17.71)	(2.15,2.33,2.29)
4	(5,51.23,20)	(6.84,52.73,17.24)	(1.84,1.5,2.76)
5	(10,51.23,20)	(12.35,54.27,17.82)	(2.35,3.04,2.18)

ตารางที่ 4.8 ทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวที่ 22

ลำดับการเคลื่อนที่	พิกัดเฉลี่ยของพื้นผิววัตถุทดสอบ (cm)	พิกัดเฉลี่ยที่คำนวณได้ของวัตถุทดสอบ (cm)	ค่าความผิดพลาด (cm)
1	(-10,81.23,20)	(-7.12,84.69,16.94)	(2.88,3.46,3.06)
2	(-5,81.23,20)	(-2.64,85.14,17.23)	(2.36,3.91,2.77)
3	(0,81.23,20)	(2.52,84.31,17.51)	(2.52,3.08,2.49)
4	(5,81.23,20)	(6.83,84.97,17.16)	(1.83,3.74,2.84)
5	(10,81.23,20)	(13.14,84.32,16.74)	(3.14,3.09,3.26)

ตารางที่ 4.9 ทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวที่ 23

ลำดับการเคลื่อนที่	พิกัดเฉลี่ยของพื้นผิววัตถุทดสอบ (cm)	พิกัดเฉลี่ยที่คำนวณได้ของวัตถุทดสอบ (cm)	ค่าความผิดพลาด (cm)
1	(-10,111.23,20)	(-6.57,115.82,16.35)	(3.43,4.59,3.65)
2	(-5,111.23,20)	(-1.54,115.96,16.43)	(3.46,4.73,3.57)
3	(0,111.23,20)	(2.76,114.78,15.68)	(2.76,3.55,4.32)
4	(5,111.23,20)	(8.59,114.69,17.24)	(3.59,3.46,2.76)
5	(10,111.23,20)	(13.24,115.78,16.67)	(3.24,4.55,3.33)

ตารางที่ 4.10 ทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวที่ 31

ลำดับการเคลื่อนที่	พิกัดเฉลี่ยของพื้นผิววัตถุทดสอบ (cm)	พิกัดเฉลี่ยที่คำนวณได้ของวัตถุทดสอบ (cm)	ค่าความผิดพลาด (cm)
1	(-10,51.23,30)	(-6.57,54.46,26.59)	(3.43,3.23,3.41)
2	(-5,51.23,30)	(-2.36,54.57,26.71)	(2.64,3.34,3.29)
3	(0,51.23,30)	(3.09,55.14,27.15)	(3.09,3.91,2.85)
4	(5,51.23,30)	(8.49,54.37,26.42)	(3.49,3.14,3.58)
5	(10,51.23,30)	(13.76,54.21,26.13)	(3.76,2.98,3.87)

ตารางที่ 4.11 ทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวที่ 32

ลำดับการเคลื่อนที่	พิกัดเฉลี่ยของพื้นผิววัตถุทดสอบ (cm)	พิกัดเฉลี่ยที่คำนวณได้ของวัตถุทดสอบ (cm)	ค่าความผิดพลาด (cm)
1	(-10,81.23,30)	(-6.22,84.91,25.08)	(3.78,3.68,4.92)
2	(-5,81.23,30)	(-1.85,85.32,26.79)	(3.15,4.09,3.21)
3	(0,81.23,30)	(3.26,85.67,25.61)	(3.26,4.44,4.39)
4	(5,81.23,30)	(8.74,85.29,26.54)	(3.74,4.06,3.46)
5	(10,81.23,30)	(14.16,85.63,26.17)	(4.16,4.40,3.83)

ตารางที่ 4.12 ทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวที่ 33

ลำดับการเคลื่อนที่	พิกัดเฉลี่ยของพื้นผิววัตถุทดสอบ (cm)	พิกัดเฉลี่ยที่คำนวณได้ของวัตถุทดสอบ (cm)	ค่าความผิดพลาด (cm)
1	(-10,111.23,30)	(-5.61,115.69,27.57)	(4.39,4.46,2.43)
2	(-5,111.23,30)	(-2.44,115.94,26.78)	(2.56,4.71,3.22)
3	(0,111.23,30)	(3.54,114.89,26.16)	(3.54,3.66,3.84)
4	(5,111.23,30)	(9.32,116.21,25.75)	(4.32,4.98,4.25)
5	(10,111.23,30)	(14.62,115.74,25.06)	(4.62,4.51,4.94)

ตารางที่ 4.13 ทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวที่ 41

ลำดับการเคลื่อนที่	พิกัดเฉลี่ยของพื้นผิววัตถุทดสอบ (cm)	พิกัดเฉลี่ยที่คำนวณได้ของวัตถุทดสอบ (cm)	ค่าความผิดพลาด (cm)
1	(-10,51.23,40)	(-4.65,59.31,33.72)	(5.35,8.08,6.28)
2	(-5,51.23,40)	(1.24,58.41,32.53)	(6.24,7.18,7.47)
3	(0,51.23,40)	(5.88,60.31,33.46)	(5.88,9.08,6.54)
4	(5,51.23,40)	(11.06,60.79,32.93)	(6.06,9.56,7.07)
5	(10,51.23,40)	(15.67,57.26,31.58)	(5.67,6.03,8.42)

ตารางที่ 4.14 ทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวที่ 42

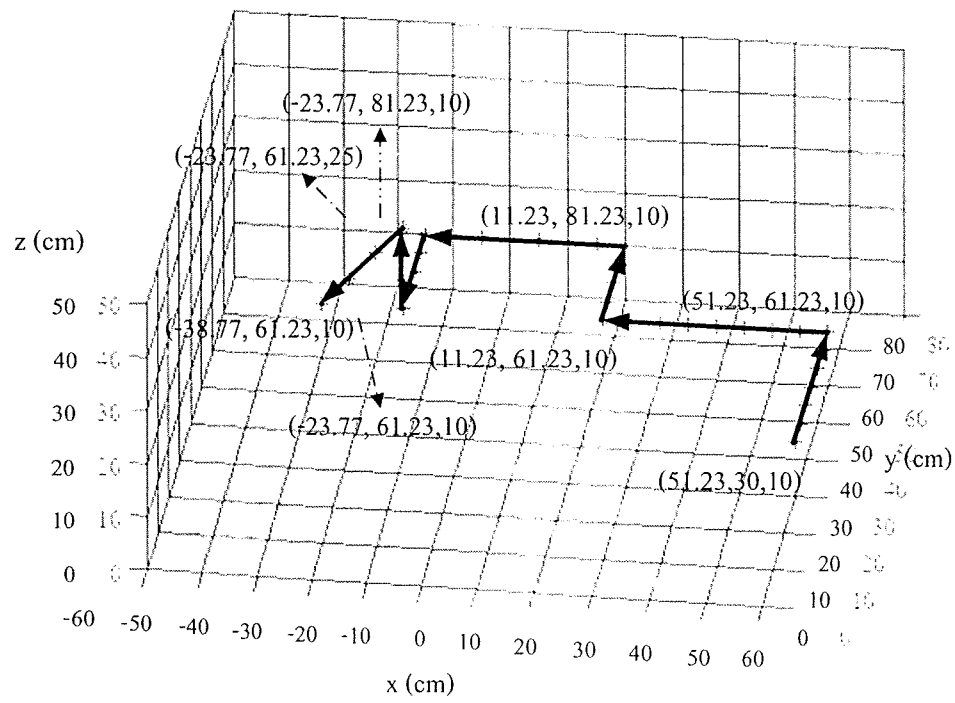
ลำดับการเคลื่อนที่	พิกัดเฉลี่ยของพื้นผิววัตถุทดสอบ (cm)	พิกัดเฉลี่ยที่คำนวณได้ของวัตถุทดสอบ (cm)	ค่าความผิดพลาด (cm)
1	(-10,81.23,40)	(-3.21,88.94,31.41)	(6.79,7.71,8.59)
2	(-5,81.23,40)	(0.64,89.16,33.65)	(5.64,7.93,6.35)
3	(0,81.23,40)	(5.87,87.61,32.25)	(5.87,6.38,7.75)
4	(5,81.23,40)	(10.32,90.07,33.21)	(5.32,8.84,6.79)
5	(10,81.23,40)	(16.25,89.23,32.11)	(6.25,8.00,7.89)

ตารางที่ 4.15 ทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวที่ 43

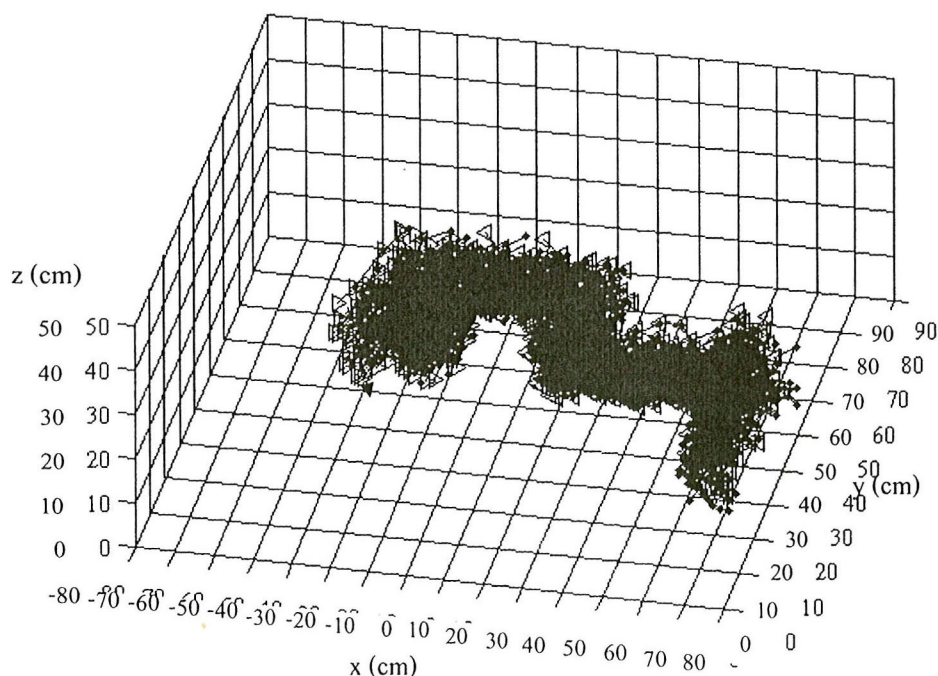
ลำดับการเคลื่อนที่	พิกัดเฉลี่ยของพื้นผิววัตถุทดสอบ (cm)	พิกัดเฉลี่ยที่คำนวณได้ของวัตถุทดสอบ (cm)	ค่าความผิดพลาด (cm)
1	(-10,111.23,40)	(-4.54,119.56,33.26)	(5.46,8.33,6.74)
2	(-5,111.23,40)	(1.24,117.73,31.81)	(6.24,6.5,8.19)
3	(0,111.23,40)	(6.76,120.74,30.19)	(6.76,9.51,9.81)
4	(5,111.23,40)	(10.65,117.53,32.93)	(5.65,6.3,7.07)
5	(10,111.23,40)	(16.48,120.35,34.53)	(6.48,9.12,5.47)

4.7 การเคลื่อนที่ของวัตถุซึ่งเคลื่อนที่ติดต่อกัน

ในการทดลองนี้ได้ทำการทดลองโดยให้วัตถุเคลื่อนที่ในระยะทางที่ยาวขึ้นโดยเคลื่อนที่ไปในทิศทางต่าง ๆ ในย่านการทำงานของระบบ โดยทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุทดสอบแสดงได้ดังรูปที่ 4.71 และทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุทดสอบที่คำนวณได้จากการไหลเชิงแสงแสดงได้ดังรูปที่ 4.72



รูปที่ 4.71 ทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุทดสอบ



รูปที่ 4.72 ทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุทดสอบ โดยใช้การไหลเชิงแสง

จากรูปที่ 4.71 จะเห็นได้ว่าทิศทางการเคลื่อนที่ที่ได้จากระบบสอดคล้องกับทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุจริง แสดงให้เห็นว่าเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ในย่านการทำงานของระบบ ระบบจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.8 วิเคราะห์และสรุป

จากตารางที่ 4.1 เป็นการเคลื่อนที่ในแนวแกน X จากผลการทดสอบที่ได้พบว่าค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดในแนวแกน X Y และ Z เป็น 0.97 1.67 และ 1.29 เซนติเมตรตามลำดับ ค่าความผิดพลาดมากที่สุดใแนวแกน X Y และ Z เป็น 1.55 2.91 และ 2.47 เซนติเมตรตามลำดับ และค่าความผิดพลาดเฉลี่ยในแนวแกน X Y และ Z เป็น 1.22 2.09 และ 1.87 เซนติเมตรตามลำดับ

จากตารางที่ 4.2 เป็นการเคลื่อนที่ในแนวแกน Z จากผลการทดสอบที่ได้พบว่าค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดในแนวแกน X Y และ Z เป็น 0.94 1.69 และ 1.04 เซนติเมตรตามลำดับ ค่าความผิดพลาดมากที่สุดใแนวแกน X Y และ Z เป็น 1.46 4.09 และ 2.29 เซนติเมตรตามลำดับ และค่าความผิดพลาดเฉลี่ยในแนวแกน X Y และ Z เป็น 1.23 2.84 และ 1.77 เซนติเมตรตามลำดับ

จากตารางที่ 4.11 เป็นการเคลื่อนที่ตามแนวแนวที่ 32 จากผลการทดสอบที่ได้พบว่าค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดในแนวแกน X Y และ Z เป็น 3.15 3.68 และ 3.21 เซนติเมตรตามลำดับ ค่าความผิดพลาดมากที่สุดในแนวแกน X Y และ Z เป็น 4.16 4.44 และ 4.92 เซนติเมตรตามลำดับ และค่าความผิดพลาดเฉลี่ยในแนวแกน X Y และ Z เป็น 3.62 4.13 และ 3.96 เซนติเมตรตามลำดับ

จากตารางที่ 4.12 เป็นการเคลื่อนที่ตามแนวแนวที่ 33 จากผลการทดสอบที่ได้พบว่าค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดในแนวแกน X Y และ Z เป็น 2.56 3.66 และ 2.43 เซนติเมตรตามลำดับ ค่าความผิดพลาดมากที่สุดในแนวแกน X Y และ Z เป็น 4.62 4.98 และ 4.94 เซนติเมตรตามลำดับ และค่าความผิดพลาดเฉลี่ยในแนวแกน X Y และ Z เป็น 3.89 4.46 และ 3.74 เซนติเมตรตามลำดับ

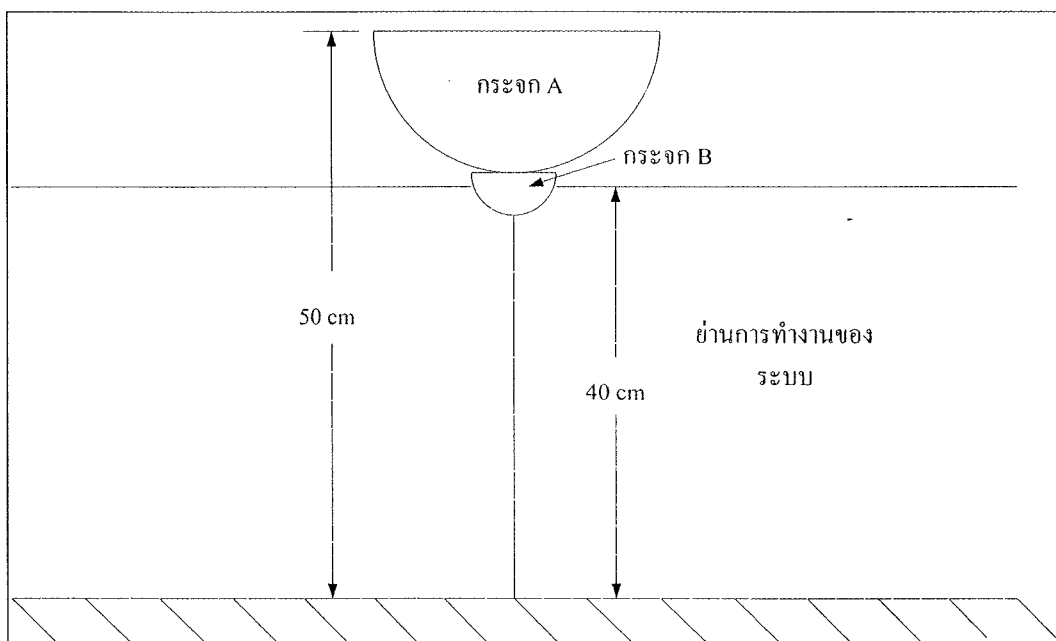
จากตารางที่ 4.13 เป็นการเคลื่อนที่ตามแนวแนวที่ 41 จากผลการทดสอบที่ได้พบว่าค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดในแนวแกน X Y และ Z เป็น 5.35 6.03 และ 6.28 เซนติเมตรตามลำดับ ค่าความผิดพลาดมากที่สุดในแนวแกน X Y และ Z เป็น 6.24 9.56 และ 8.42 เซนติเมตรตามลำดับ และค่าความผิดพลาดเฉลี่ยในแนวแกน X Y และ Z เป็น 5.84 7.99 และ 7.16 เซนติเมตรตามลำดับ

จากตารางที่ 4.14 เป็นการเคลื่อนที่ตามแนวแนวที่ 42 จากผลการทดสอบที่ได้พบว่าค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดในแนวแกน X Y และ Z เป็น 5.32 6.38 และ 6.35 เซนติเมตรตามลำดับ ค่าความผิดพลาดมากที่สุดในแนวแกน X Y และ Z เป็น 6.79 8.84 และ 8.59 เซนติเมตรตามลำดับ และค่าความผิดพลาดเฉลี่ยในแนวแกน X Y และ Z เป็น 5.97 7.77 และ 7.47 เซนติเมตรตามลำดับ

จากตารางที่ 4.15 เป็นการเคลื่อนที่ตามแนวแนวที่ 43 จากผลการทดสอบที่ได้พบว่าค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดในแนวแกน X Y และ Z เป็น 5.46 6.30 และ 5.47 เซนติเมตรตามลำดับ ค่าความผิดพลาดมากที่สุดในแนวแกน X Y และ Z เป็น 6.76 9.51 และ 9.81 เซนติเมตรตามลำดับ และค่าความผิดพลาดเฉลี่ยในแนวแกน X Y และ Z เป็น 6.12 7.95 และ 7.46 เซนติเมตรตามลำดับ

จากผลการทดลองที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการทดลองโดยการเคลื่อนที่วัตถุในแนวแกนต่าง ๆ ในบริเวณที่อยู่ใกล้กับแกนเชิงแสงในระยะ 51.23-62.03 เซนติเมตร และสูงจากพื้นไม่เกิน 25 เซนติเมตร ค่าความผิดพลาดของตำแหน่งของวัตถุจะมีค่าความผิดพลาดน้อยคือน้อยกว่า 3 เซนติเมตร จากนั้นในการทดลองที่ 4.4 ได้ทำการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของระบบที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นแสดงในตารางที่ 4.4 ถึง 4.15 ซึ่งสรุปได้ว่าเมื่อวัตถุทดสอบอยู่สูงขึ้นจากพื้นไม่เกิน 40 เซนติเมตรค่าความผิดพลาดจะมีค่าน้อยกว่า 5 เซนติเมตรซึ่งถือว่าเพียงพอต่อการทำงานของระบบ และเมื่อวัตถุอยู่สูงขึ้นจากพื้นมากกว่า 40 เซนติเมตร ค่าความผิดพลาดจะมีค่ามากกว่า 5 เซนติเมตร ซึ่งเป็นผลมาจากเมื่อวัตถุอยู่สูงขึ้นไปภาพที่ปรากฏบนกระจกโค้งจะอยู่ตรงขอบภาพซึ่งมีความละเอียดของภาพต่ำ โดยย่านการทำงานที่มีประสิทธิภาพของระบบแสดงดังรูปที่ 4.72 จากนั้นในการทดลองที่ 4.6 ได้ทำการทดลองโดยทำการเคลื่อนที่ของวัตถุทดสอบในช่วงการทำงานของระบบที่มีประสิทธิภาพ ในระยะทางที่ยาวขึ้นซึ่งโดยแนวทางการเคลื่อนที่แสดงในรูปที่ 4.71 โดยผลที่ได้จากรูปที่ 4.72 จะเห็นได้ว่าทิศทางการเคลื่อนที่ของระบบสอดคล้อง

กับทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุจริง แสดงให้เห็นว่าเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ในย่านการทำงานของระบบ ระบบจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 4.73 ย่านการทำงานที่มีประสิทธิภาพของระบบ