

บทนำ

ในปัจจุบันปริมาณประชากรของประเทศไทยมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว มีการกระจายตัวไปทั่วทุกพื้นที่ของประเทศ โดยเฉพาะทางด้านเกษตรกรรมซึ่งเป็นอาชีพสำคัญที่สร้างผลิตผลเพื่อตอบสนองความต้องการทั้งในและต่างประเทศ เนื่องจากการเจริญเติบโตทางเกษตรกรรมเพิ่มมากขึ้น ทำให้ปัญหาของความต้องการน้ำ และการบริหารจัดการน้ำทวีความรุนแรงมากขึ้นตามลำดับ การบริหารจัดการน้ำที่มีประสิทธิภาพจะเป็นการป้องกันความเสียหายที่มากจากการขาดน้ำหรือน้ำมากเกินไป อีกทั้งจะเป็นการช่วยลดปัญหาความขาดแคลนที่เกิดขึ้นในปัจจุบันและที่กำลังจะเกิดขึ้นในอนาคตได้

ปัญหาสำคัญของการบริหารจัดการน้ำในประเทศไทยคือ ขาดข้อมูลปริมาณน้ำที่มีประสิทธิภาพและทันต่อเหตุการณ์ การตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำในคลองชลประทาน ซึ่งการตรวจวัดอัตราการไหลจะเป็นพื้นฐานของการบริหารจัดการน้ำ เป็นตัวบ่งบอกถึงปริมาณน้ำที่มีและความต้องการน้ำของแต่ละพื้นที่ การตรวจวัดปริมาณการไหลในจุดต่างๆจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการน้ำ และจัดสรรปริมาณน้ำได้อย่างถูกต้อง การตรวจวัดน้ำของกรมชลประทานตามคลองชลประทานทั่วประเทศยังมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอและไม่ทันต่อเหตุการณ์ที่จะสามารถนำมาใช้ละทำนายสถานการณ์ปริมาณน้ำได้ กรมชลประทานมีการนำเครื่องมือตรวจวัดระดับน้ำอัตโนมัติมาใช้เพื่อจะช่วยให้การเก็บข้อมูลเป็นประจำอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากเครื่องมือที่ตั้งนำเข้ามาจากต่างประเทศมีราคาสูงและจำเป็นจะต้องมีผู้เชี่ยวชาญควบคุมดูแลระบบ ทำให้ต้องใช้เงินทุนมหาศาล ระบบอัตโนมัติจึงไม่ได้รับความนิยมมากนัก และยังมีปัญหาความไม่ถูกต้องของระดับน้ำเนื่องจากการเปิดปิดบานประตูระบายน้ำซึ่งจะอธิบายในการวัดน้ำต่อไป

การตรวจวัดปริมาณน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติมีบทบาทความสำคัญมากต่อการบริหารจัดการน้ำ ซึ่งส่งผลกระทบต่อความมั่นคงและรากฐานทางสังคมและเศรษฐกิจของประเทศ การตรวจวัดปริมาณน้ำที่มีประสิทธิภาพและถูกต้องจะช่วยให้การบริหารจัดการน้ำมีประสิทธิภาพและช่วยป้องกันหรือทุเลาความรุนแรงของภัยพิบัติทางน้ำที่จะเกิดขึ้นได้

วิธีการตรวจวัดปริมาณน้ำในปัจจุบันมีมากมายหลายวิธี แต่ละวิธีมีข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกันออกไป ประสิทธิภาพและความง่ายในการใช้งานจะแปรผันตามราคาของเครื่องมือ โดยทั่วไปราคาเครื่องมือวัดปริมาณน้ำที่มีขายในตลาดมีราคาสูงมากเพราะต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ การพัฒนาเครื่องมือวัดที่มีราคาถูกและมีประสิทธิภาพจะส่งผลให้การตรวจวัดปริมาณน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

การตรวจวัดปริมาณน้ำในคลองชลประทานสามารถทำได้หลายวิธีเช่น 1.การวัดความลึกของระดับน้ำที่หน้าตัดใดๆ แล้วนำความลึกของน้ำมาหาพื้นที่หน้าตัดของคลอง จากนั้นนำความลึกและพื้นที่หน้าตัดมาหาสมการการไหลเพื่อคำนวณเป็นอัตราการไหล 2.การวัดระดับน้ำที่ก่อนและหลังบานประตูระบายน้ำแล้วนำมาเปรียบเทียบเป็นค่าปริมาณการไหล จากกราฟอัตราการไหลหรือที่เรียกว่า Rating Curve 3.การวัดอัตราการไหลจากระดับน้ำที่ไหลข้ามฝายสันคมที่มีการเทียบวัดค่าอัตราการไหลมาแล้ว จากนั้นนำระดับที่ได้มาเทียบวัดเป็นอัตราการไหล ในสถานการณ์จริงการคำนวณอัตราการไหลจากสมการการไหลโดยใช้ค่าระดับน้ำ(วิธีที่1.) จะมีจุดอ่อนที่สมการไม่ได้มีการครอบคลุมตัวแปรผันทางธรรมชาติและความแตกต่างทางพื้นที่มากมาย จึงทำให้ค่าที่คำนวณได้มีความผิดพลาดสูง ดังนั้นสมการการไหลจะสามารถใช้ได้เมื่อมีการปรับแก้ตัวแปรผันทางธรรมชาติและมีการปรับแก้เพื่อให้เข้ากับสถานที่นั้นๆ ซึ่งในความเป็นจริงการที่จะควบคุมตัวแปรผันทางธรรมชาติสามารถทำได้ยาก และการปรับแก้สมการเพื่อให้เข้ากับสภาพแวดล้อมและสถานที่จะต้องใช้

ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านการทดสอบและตรวจวัด ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สิ้นเปลืองเวลา แรงงาน และค่าใช้จ่ายมาก อีกทั้งจะต้องทำการตรวจสอบเป็นประจำเพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำ

ดังที่กล่าวในขั้นต้นว่าการคำนวณอัตราการไหลจากสมการที่ใช้ค่าความลึกมีความผิดสูง อีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การคำนวณปริมาณการไหลของน้ำในคลองชลประทานผิดพลาดคือ ผลกระทบจาก Shot Channel Effect และ Back Water Effect ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ ระดับน้ำในคลองสูงขึ้นจากการปิดหรือลดระดับบานประตูท้ายน้ำแต่ปริมาณการไหลของน้ำลดลง เนื่องมาจากระยะทางการไหลในคลองมีความยาวไม่เพียงพอที่จะหลีกเลี่ยงผลกระทบนี้ ทำให้ไม่สามารถคำนวณปริมาณการไหลที่แท้จริงได้โดยใช้ความลึกของระดับน้ำ

การคำนวณอัตราการไหลจากระดับน้ำก่อนและหลังฝาย เป็นวิธีที่มีการใช้อย่างแพร่หลายตามจุดวัดน้ำต่างๆ วิธีนี้จะต้องมีการเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลกับระดับการเปิดบานประตูระบายน้ำ ซึ่งจำเป็นจะต้องมีการเทียบวัดกับค่าอัตราการไหลที่แท้จริงเป็นประจำทุกๆ 5-7 ปีเพื่อให้ได้ค่าที่แน่นอน ค่าที่ได้จะมีจำนวนน้อย เพราะสถานีวัดน้ำและประตูน้ำมีจำนวนน้อยเมื่อเทียบกับจำนวนคลองชลประทานที่มีอยู่ ทำให้ข้อมูลไม่เพียงพอในการวิเคราะห์การจัดการและสรรน้ำในพื้นที่นั้นๆ

ความจำเป็นในการใช้เครื่องมือวัดความเร็วของกระแสน้ำจึงเข้ามามีบทบาทต่อการคำนวณปริมาณการไหล การคำนวณอัตราการไหลจะสามารถทำได้โดยนำพื้นที่หน้าตัดการไหลคูณกับความเร็วการไหล วิธีนี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำของการคำนวณอัตราการไหล และยังแก้ไขปัญหาจากปรากฏการณ์ Shot Channel Effect และ Back Water Effect ได้ โดยเมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้นเนื่องจากการลดระดับบานประตู อัตราการไหลจะลดลงส่งผลให้ความเร็วของการไหลก็จะลดลงตามลงมา ฉะนั้นถึงแม้ว่าพื้นที่การไหลเพิ่มขึ้นแต่ถ้าสามารถบอกความเร็วของกระแสน้ำที่ลดลง ก็จะสามารถคำนวณปริมาณการไหลที่แท้จริงได้

การวัดน้ำที่มีใช้ในประเทศไทยมีหลากหลายวิธี โดยส่วนมากจะเป็นการวัดความลึกเพื่อนำไปคำนวณหาอัตราการไหลจาก Rating Curve การวัดความลึกจะสามารถกระทำได้หลายวิธีแต่ละวิธีจะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันแสดงข้างล่าง

ตารางที่ 1.1 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของวิธีการวัดระดับน้ำ

วิธีการวัดระดับน้ำ	ข้อดี	ข้อจำกัด
ลูกลอย	1.ได้ผลที่แน่นอนแม่นยำ 2.สามารถหาวัดได้ง่าย 3.สามารถต่อกับระบบส่ง ข้อมูลได้โดยตรง	1.ต้องมีบ่อพักน้ำนิ่ง 2.มีขนาดใหญ่และขั้นตอนติดตั้งยุ่งยาก
หัววัด แรงดัน Pressure Transducer	1.การติดตั้งง่าย 2.สามารถต่อกับระบบส่งข้อมูลได้โดยตรง	1.ราคาสูง (นำเข้าจากต่างประเทศ) 2.มีอุปสรรคมากเพราะต้องอยู่ใต้น้ำตลอด
ไม้วัดระดับ Staff Gauge	1.ราคาถูก 2.มีความทนทานสูง	1.ไม่สามารถต่อกับระบบส่งข้อมูลได้ 2.ต้องใช้เวลาและแรงงานจำนวนมากทั้งการอ่านและบันทึกข้อมูล

		3.ไม่สามารถส่งข้อมูลได้ทันเหตุการณ์
Ultrasonic Meter	1.สามารถประยุกต์ใช้เป็นเครื่องวัดความเร็วในตัว 2.สามารถต่อกับระบบส่งข้อมูลได้โดยตรง 3.การติดตั้งง่าย	1.ราคาสูง (นำเข้าจากต่างประเทศ) 2.สภาพแวดล้อมมีผลกับการวัด
Laser Depth Meter	1.สามารถประยุกต์ใช้เป็นเครื่องวัดความเร็วในตัว 2.สามารถต่อกับระบบส่งข้อมูลได้โดยตรง 3.การติดตั้งง่าย	1.ไม่สามารถใช้ได้กับน้ำที่มีตะกอนหนาแน่น 2.ราคาสูง (นำเข้าจากต่างประเทศ) 3.มีข้อจำกัดกับความลึกน้ำ

ซึ่งจากที่กล่าวมาในขั้นตอนการวัดความลึกของน้ำไม่เพียงพอต่อการประมาณค่าอัตราการไหลของน้ำ ดังนั้นการวัดความเร็วของกระแส น้ำจึงเป็นทางเลือกที่สามารถนำมาช่วยในการคำนวณอัตราการไหลได้ สามารถนำไปใช้ได้ทุกพื้นที่โดยไม่จำเป็นจะต้องมีอาคารวัดน้ำ

การตรวจวัดความเร็วของกระแสน้ำสามารถทำได้หลายวิธี โดยเครื่องมือที่แตกต่างกันออกไป โดยแต่ละชนิดจะมีจุดเด่นและข้อด้อยดังแสดงในตารางดังนี้

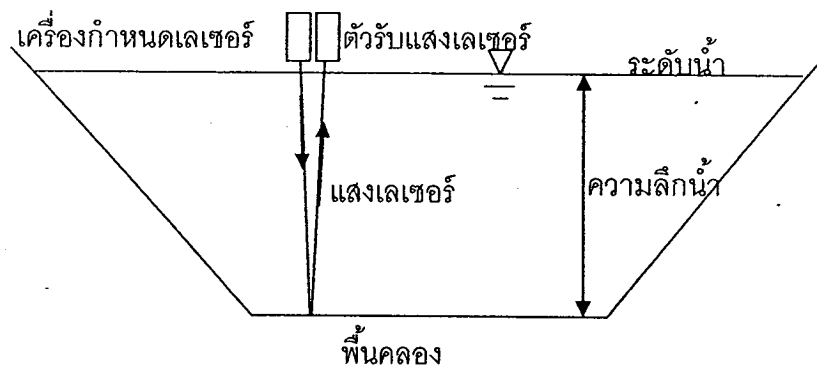
ตารางที่ 1.2 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของวิธีการวัดความเร็วน้ำ

วิธีการวัดความเร็วน้ำ	ข้อดี	ข้อเสีย
1.Current Meter เครื่องวัดความเร็วน้ำแบบใบพัด	1.ได้ความเร็วที่เที่ยงตรง 2.สามารถเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารได้โดยตรง	1.ไม่สามารถวัดความเร็วเฉลี่ยได้ 2.มีขั้นตอนที่ยุ่งยากในการหาค่าความเร็วเฉลี่ย 3.ใช้เวลาและแรงงานสูง 4.ราคาสูง (นำเข้าจากต่างประเทศ)
2.ท่อปีโตต (Pitot Tube)	1.ราคาถูก 2.สภาพแวดล้อมในการวัดมีผลต่อการค่าที่ได้น้อย	1.ค่าความเร็วเฉลี่ยไม่คงที่ 2.ไม่สามารถเชื่อมต่อกับระบบส่งข้อมูลได้ 3.ใช้เวลาและแรงงานสูง
3.Ultrasonic Meter	1.ขั้นตอนวัดง่ายต่อการทำงาน 2.มีขนาดเล็กและไม่ต้องมีอาคาร 3.สามารถประยุกต์ใช้วัดความลึกได้ 4.สามารถเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารได้โดยตรง	1.ราคาสูง (นำเข้าจากต่างประเทศ) 2.สิ่งแวดล้อมมีผลต่อความแม่นยำของการวัด
4.Laser Velocimetry	1.มีขนาดเล็กและไม่ต้องมีอาคาร	1.ราคาสูง (นำเข้าจาก

	2.สามารถประยุกต์ใช้วัดความลึกได้ 3.ขั้นตอนวัดง่ายต่อการทำงาน 4.สามารถเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารได้โดยตรง	ต่างประเทศ) 2. สิ่งแวดล้อมมีผลต่อความแม่นยำของการวัด
5.Electromagnetic	1.ขั้นตอนวัดง่ายต่อการทำงาน 2.มีขนาดเล็กและไม่ต้องมีอาคาร 3.สามารถเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารได้โดยตรง	1. ราคา สูง (นำเข้าจากต่างประเทศ) 2.มีขั้นตอนที่ยุ่งยากในการหาค่าความเร็วเฉลี่ย 3.ใช้เวลาและแรงงานสูง

จากการที่ได้พิจารณาข้อดีและข้อเสียของเครื่องมือวัดความลึกและความเร็วน้ำแล้ว งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเครื่องมือวัดน้ำที่มีใช้หลักการของเลเซอร์ หรือ Laser Velocimetry ซึ่งมีความสามารถในการวัดความลึกและความเร็วของกระแสน้ำ

การใช้แสงเลเซอร์วัดความลึกของน้ำจะอาศัยหลักการทำงานเดียวกับเครื่องวัดระยะทางโดยเลเซอร์ ทำงานโดยการส่งคลื่นแสงเลเซอร์จากผิวน้ำลงไปยังท้องน้ำเป็นจังหวะๆ เลเซอร์จะสะท้อนพื้นท้องน้ำกลับมาขึ้นมาเข้าตัวรับสัญญาณที่ผิวน้ำ ระยะทางหรือความลึกจะคำนวณได้จากเวลาที่ใช้ในการเดินทางแล้วหารด้วยสองดังที่แสดงในรูปที่ 1.1 วิธีนี้จะมีข้อจำกัดดังนี้ 1. ความสามารถในการสะท้อนของแสงเลเซอร์จะขึ้นอยู่กับชนิดของพื้นผิวคลอง 2.ปริมาณตะกอนในน้ำจะมีผลโดยตรงกับการสะท้อนของแสงเลเซอร์ ซึ่งข้อจำกัดเหล่านี้สามารถแก้ไขได้โดยการเลือกวิธีและความถี่ในการฉายแสงเลเซอร์ที่เหมาะสม

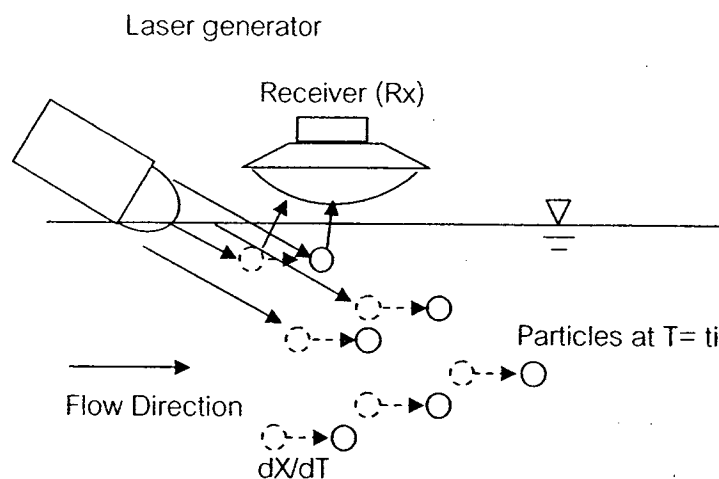


รูปที่ 1.1 การประยุกต์ใช้เลเซอร์เพื่อวัดความลึกของระดับน้ำ

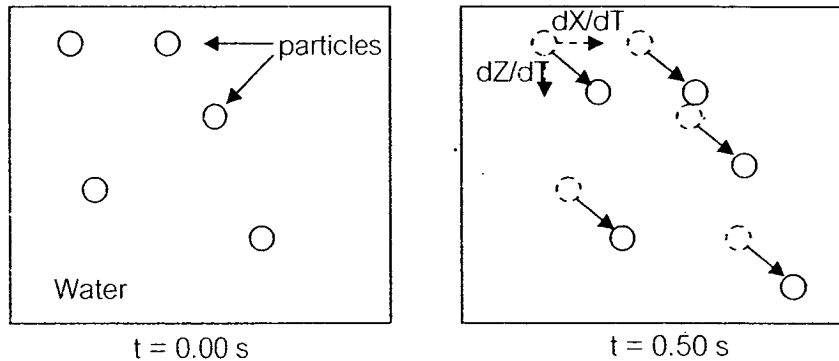
การใช้แสงเลเซอร์ในการตรวจวัดปริมาณน้ำ

การใช้แสงเลเซอร์ในการตรวจวัดมีข้อดีคือสามารถวัดได้ทั้งความเร็วและระดับน้ำและสามารถทำได้หลายวิธี โดยทั้งหมดมีหลักการเบื้องต้นคือ การฉายแสงเลเซอร์ไปยังน้ำที่มีปริมาณตะกอนเป็นส่วนประกอบ แสงเลเซอร์จะสะท้อนตะกอนที่อยู่ในน้ำ ตำแหน่งของตะกอนจะถูกบันทึกโดยกล้องถ่ายภาพหรือกล้องวิดีโอ(รูปที่1.2)การบันทึกภาพจะเป็นระยะๆที่เวลาต่าง ๆ กัน

ข้อมูลภาพจะถูกส่งเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อทำการวิเคราะห์ตำแหน่งของตะกอนที่เวลาใดๆ ซึ่งเป็นการคำนวณความเร็วจะทำโดยนำระยะทางการเคลื่อนที่ของตะกอนในแนวแกน dX/dT dY/dT และ dZ/dT ของตะกอนโดยรวมมาคำนวณเป็นระยะทางเฉลี่ยของแกนที่คำนวณได้หารด้วยเวลาที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 1.2 และ 1.3 ตัวอย่างวิธีการใช้แสงเลเซอร์ในการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของตะกอนเช่น Laser Doppler Anemometry (LDA) Digital Particle Image Velocity (DPIV) Digital Particle Tracking Velocimetry (DPTV) Holographic Particle Image Velocimetry (HPIV) Doppler Global Velocimetry (DGV)/Planar Doppler Velocimetry (PDV) โดยทั้งหมดนี้จะมีขนาดของตะกอนในน้ำเป็นสิ่งที่สำคัญต่อการวัดความเร็ว ขนาดของตะกอนที่ไม่เล็กและไม่ใหญ่จนเกินไปเป็นสิ่งสำคัญต่อการวัดความเร็ว เพราะถ้าตะกอนมีขนาดเล็กจนเกินไปจะทำให้ยากต่อการจับภาพและติดตาม ในอีกทางหนึ่งคือถ้าตะกอนมีขนาดใหญ่จนเกินไป ความเร็วของตะกอนก็อาจจะไม่ใช่ความเร็วของการไหลที่แท้จริง เนื่องจากแรงโน้มถ่วงจะมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่มาก จากการทดลองของ Victor, C.^{10.3} พบว่าตะกอนควรมีขนาดประมาณ 1-50 micron ในน้ำ จึงจะเหมาะสมต่อการวัดความเร็ว ซึ่งตะกอนประเภทนี้เป็นตะกอนประเภท Sediment load ซึ่งเป็นชนิดตะกอนที่มีอยู่ทั่วไปในน้ำคลอง



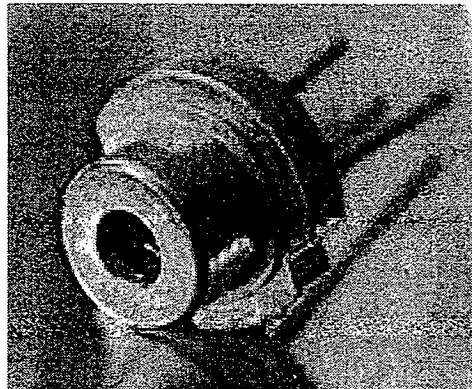
รูปที่ 1.2 การประยุกต์ใช้เลเซอร์เพื่อวัดความเร็วของการไหล (ภาพ



รูปที่ 1.3 การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของตะกอนในน้ำ (ภาพ)

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น สิ่งสำคัญของระบบคือการใช้คลื่นแสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นที่เหมาะสมกับสภาพน้ำและชนิดตะกอนที่มีของน้ำในคลอง มีพลังงานมากพอที่จะเดินทางในตัวกลาง และมีความสามารถที่จะสะท้อนกลับจากตะกอน ซึ่งจะส่งผลโดยตรงกับความสามารถในการจับภาพตะกอนในน้ำ ความเร็วและความลึกของน้ำ

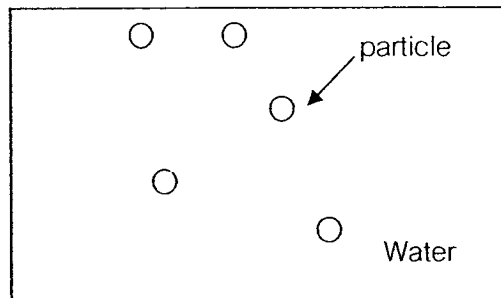
องค์ประกอบของเครื่องมือในการทดลองนี้จะประกอบด้วยหัวส่งสัญญาณแสงเลเซอร์(Tx LED) ตัวรับสัญญาณ (Rx CCD) ไมโครคอนโทรเลอร์ (MCU) และเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยหัวส่งสัญญาณจะทดลองใช้หัวสัญญาณเลเซอร์ขนาดเล็ก (Laser LED) รูปที่ 1.4 ซึ่งมีการจัดทำโดยผู้ผลิตอุปกรณ์เครื่องไฟฟ้าทั่วไป เข้ามาใช้ การทดสอบคุณสมบัติของเพื่อส่องแสงสู่ตะกอนในน้ำจะต้องทำการทดลองเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นที่แตกต่างกันเพื่อหาความยาวคลื่นแสงและระบบที่เหมาะสมต่อสภาพแวดล้อมของการวัด



รูปที่ 1.4 หัวส่งสัญญาณ เลเซอร์ขนาดเล็ก (Samsung's Laser LED)

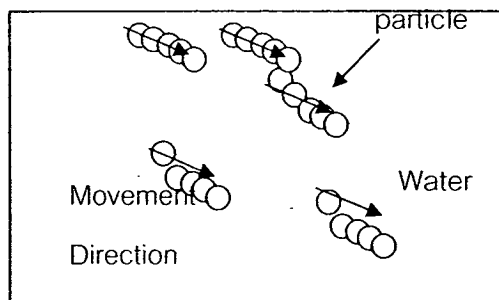
สัญญาณแสงที่สะท้อนจากตะกอนจะย้อนกลับเข้าสู่ตัวรับสัญญาณ ในขั้นต้นจะใช้กล้อง CCD ที่มีความเร็วสูงและเลนส์กำลังขยายสูงเป็นตัวรับสัญญาณ ประกอบกับ Infrared Filter เป็นตัวฟิวเตอร์กรองสัญญาณลดแสงช่วงปกติ (VL) และแสงรบกวน ก่อนที่จะเข้าสู่กล้อง CCD ข้อมูลจะถูกส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์ในรูปแบบภาพที่ถูกกรองแสงแล้วเพื่อเข้าสู่การโปรแกรมวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของตะกอน (Digital Image Processor) รูปแบบข้อมูลภาพจะแสดงตำแหน่งของอนุภาคตะกอนและเวลาที่บันทึก ซึ่งสามารถแบ่งการวิเคราะห์ได้ 2 วิธี

1.การใช้วิธีถ่ายภาพความเร็วสูง ซึ่งเป็นความเร็วที่สูงกว่าความเร็วการเคลื่อนตัวของตะกอน ภาพที่ได้จะมีลักษณะแสดงตำแหน่งตะกอนแบบนิ่ง (รูปที่ 1.5) จะต้องนำภาพที่เวลาต่าง ๆ กัน มาเปรียบเทียบเพื่อหาความเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่



รูปที่ 1.5 แสดงภาพถ่ายอนุภาคตะกอนสถานะนิ่ง

2.การใช้วิธีถ่ายภาพความเร็วต่ำ ซึ่งเป็นความเร็วที่ต่ำกว่าความเร็วการเคลื่อนตัวของตะกอน ภาพที่ได้จะมีลักษณะแสดงตำแหน่งตะกอนแบบต่อเนื่อง (รูปที่ 1.6) วิธีนี้สามารถคำนวณความเร็วและทิศทางของการเคลื่อนที่ได้โดยตรง



รูปที่ 1.6 แสดงภาพถ่ายอนุภาคตะกอนสถานะเคลื่อนที่

จากทฤษฎีที่กล่าวมา เทคนิควิธีการฉายแสงเลเซอร์จะเป็นปัจจัยสำคัญต่อการจับตำแหน่งของอนุภาคตะกอน เทคนิควิธีการฉายแสงมีหลากหลายวิธีเสนอในหัวข้อต่อไป การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง

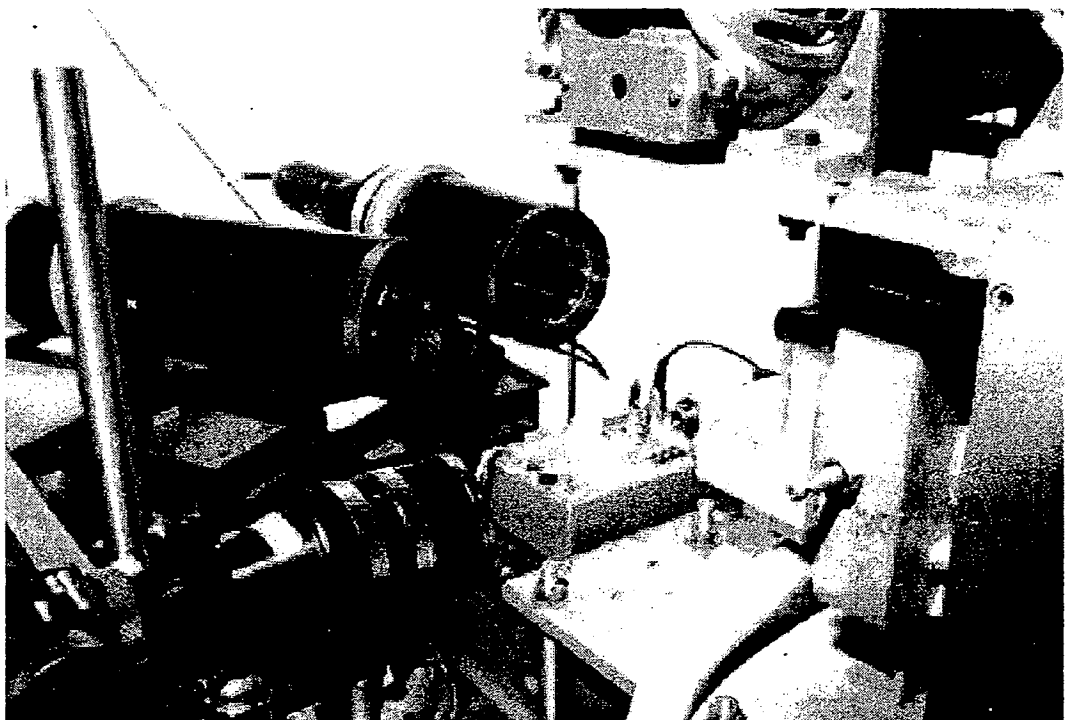
2.การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

การทดลองของ Yeh, Y. & Cummins^{6,17} ได้ทำการทดลองวิธี Laser Doppler Anemometry ในปี 1964 ซึ่งเป็นการทดลองในยุคแรกๆของการนำแสงเลเซอร์มาใช้ในการตรวจจับตำแหน่งของตะกอนในน้ำ Victor Chan ได้ทำการศึกษาและทำลองใหม่อีกครั้งโดยได้กล่าวอธิบายถึงหลักการดังนี้

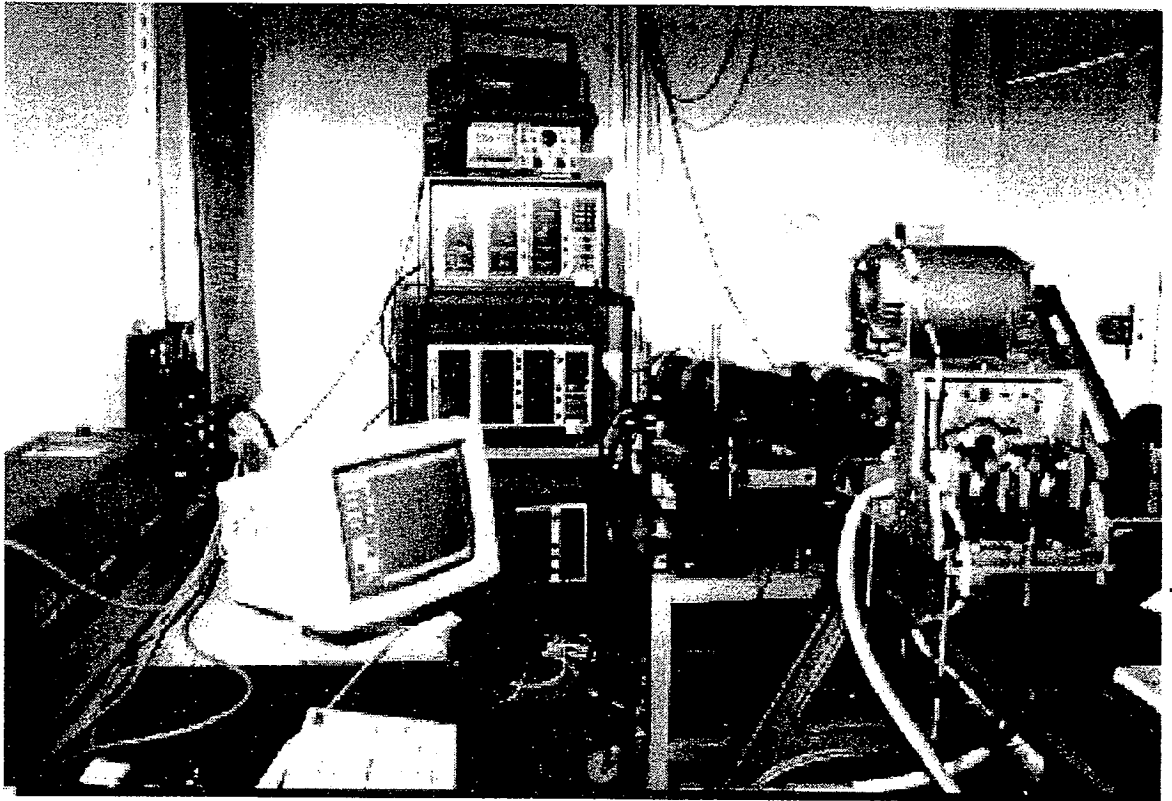
“Laser Doppler Velocimetry (LDV) is a single point optical measuring technique which enables the velocity of the seeded particles (~0.5 - 5 microns

(in air) or 1~20 microns (in water)) conveyed by a fluid flow to be measured in a non-intrusive manner. Generally speaking, for all Mie-scattering Velocimetry techniques, the seeded particles must be big enough to scatter sufficient light for signal detection (good signal to noise ratio) but small enough to follow the flow (laminar or turbulent) faithfully (in-synchronization with the localized fluid motion). By analyzing the Doppler-equivalent frequency of the laser light scattered (intensity modulations within the crossed-beam probe volume) by the seeded particles within the flow, the local velocity of the fluid can be determined. The area of interest within the flow field is sampled by a crossed-beam in a point by point manner.” (Yeh, Y. & Cummins)^{6.17}

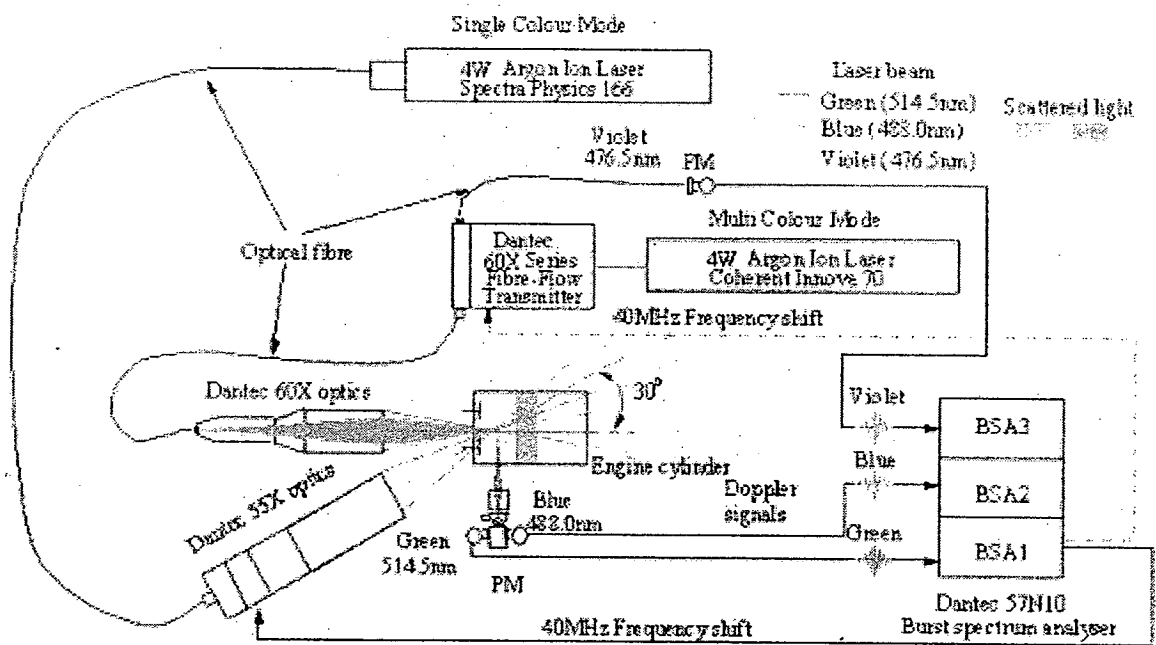
“Recently, Strunck V. have demonstrated in experiments that higher spatial resolution can be yielded with commercial 3D LDA system. They recommended to manufactures that they should provide the users of modern LDA systems with the arrival times of the burst signals of each LDA channel when coincidence mode is employed.” (Strunck V.)^{6.16} ดังแสดงในรูปที่ 2.1-2.4



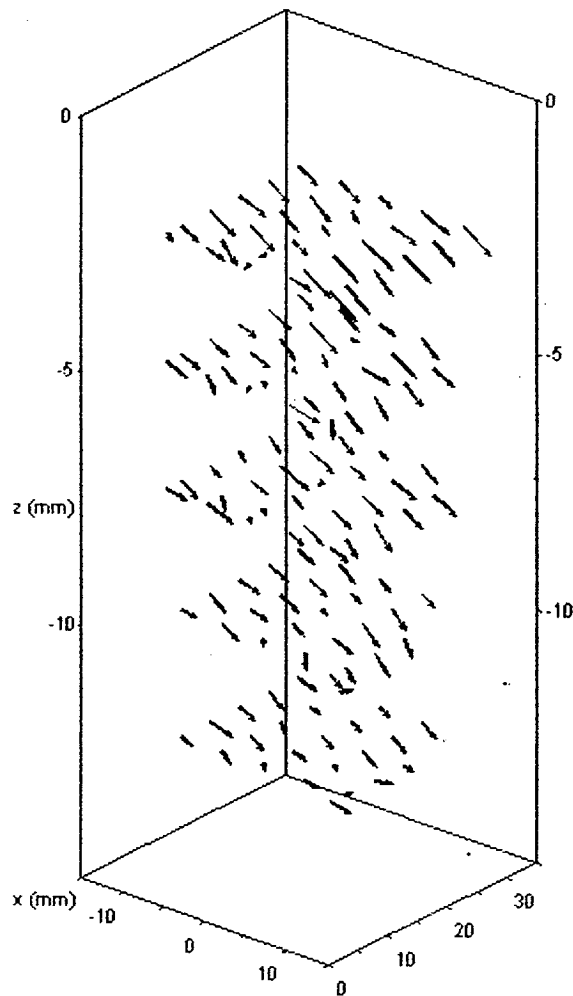
รูปที่ 2.1 การทดลองของ Strunck V. แบบ Laser Doppler Velocimetry (LDV)



รูปที่ 2.2 การทดลองของ Strunck V. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 2.3 การทดลองของ Strunck V. รูปแบบการเชื่อมต่อ

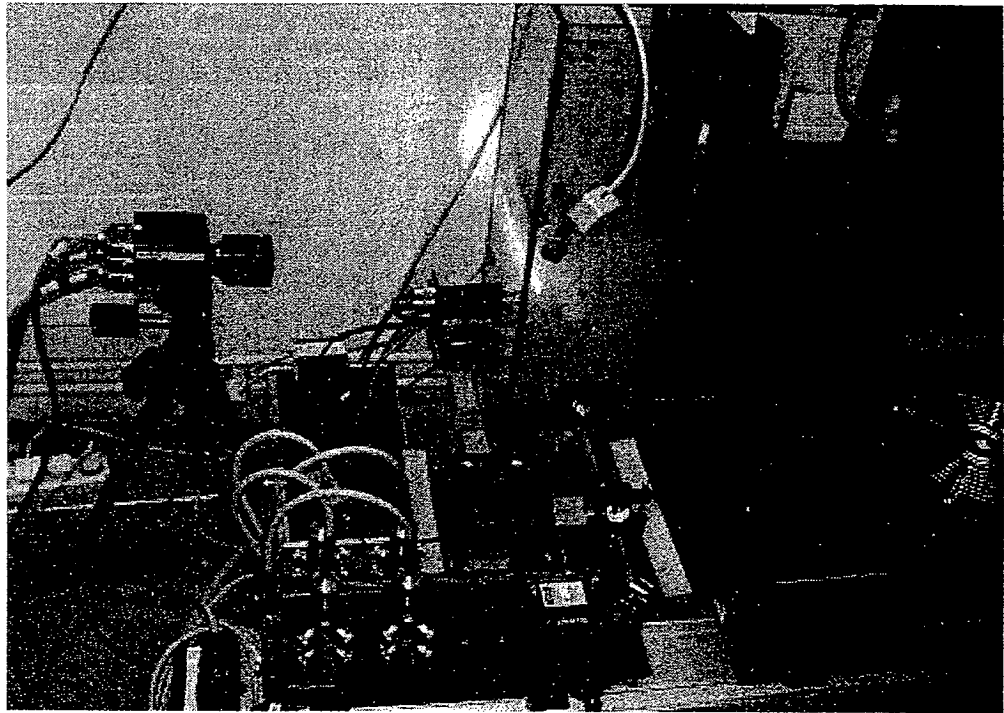


รูปที่ 2.4 การทดลองของ Strunk V. การวิเคราะห์ข้อมูลการเคลื่อนตัวของตะกอน

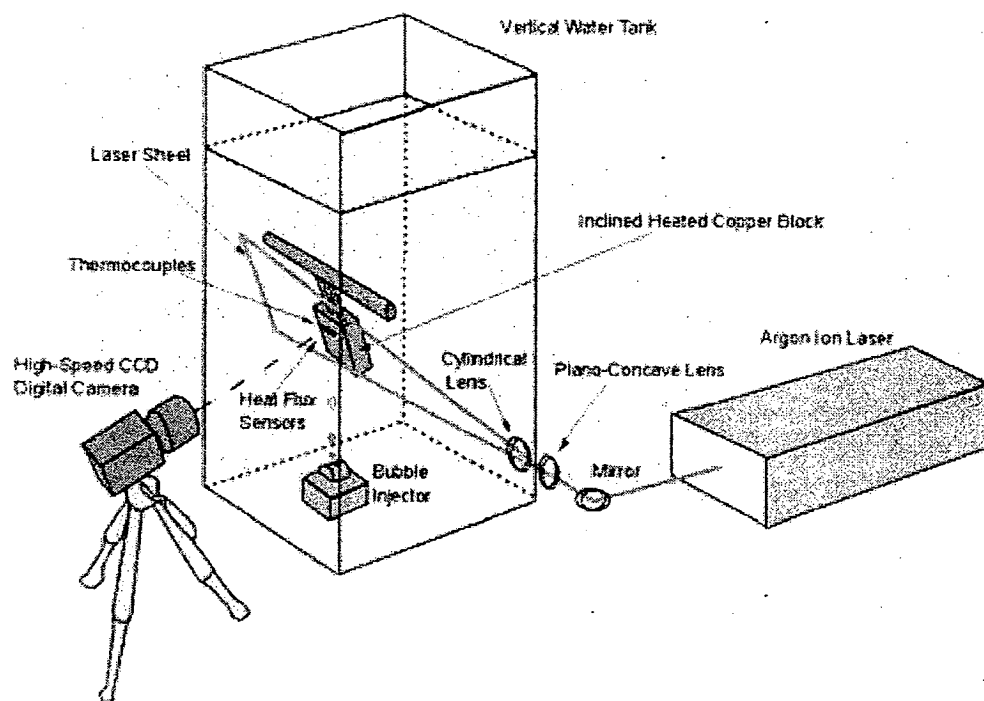
ในปี 2543 Westerweel ได้ทำการทดลองระบบ Digital Particle Image Velocimetry (DPIV) ซึ่งได้กล่าวอธิบายหลักการไว้ดังนี้

“Digital Particle Image Velocimetry (DPIV) is a planar optical measurement technique which provides a means of measuring the velocity of seeded particles ($\sim 1 - 50$ microns (in air)) in the flow of interest over a plane using a charge-coupled device (CCD) camera. The measurement area within the flow field is defined by the position and physical dimension of a fan of laser light. With the illumination of two short duration laser flashes in the measurement area, a double-exposure of the flow field is captured (through the CCD camera to the frame grabber card) on the computer. Once the spatially displaced images are stored in two separate frames, each velocity vector is extracted by performing mathematical correlation analysis on a cluster of particles within each interrogation region between the two frames (eliminating the problem of directional ambiguity). The PIV interrogation process is repeated until all the required velocity information is extracted from the captured record. There should be a high

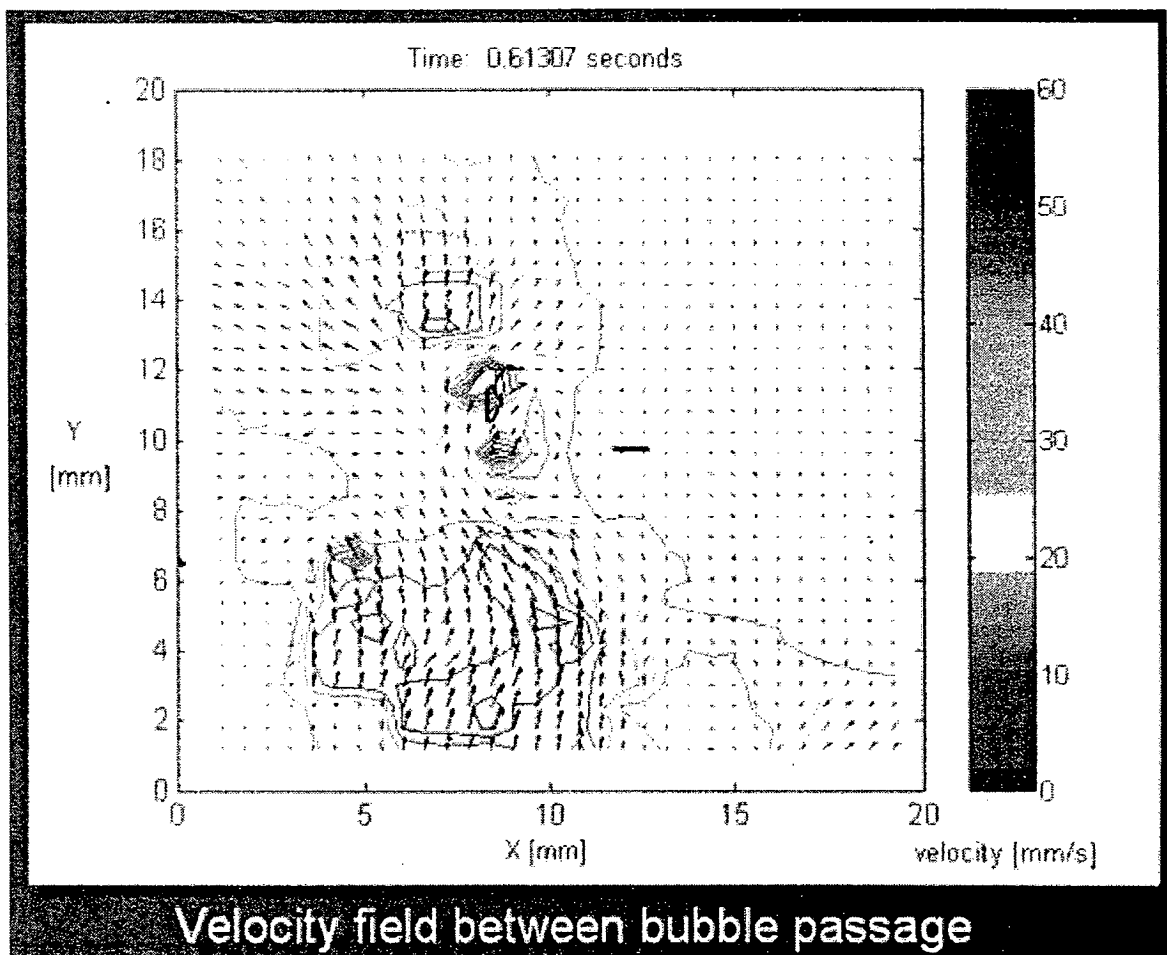
enough seeding concentration of particle images within the interrogation window to minimize any potential bias error arise from data drop out” (Westerweel 2000). การทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 2.5-2.7



รูปที่ 2.5 การทดลองของ Westerweel แบบ Digital Particle Image Velocimetry (DVIP)



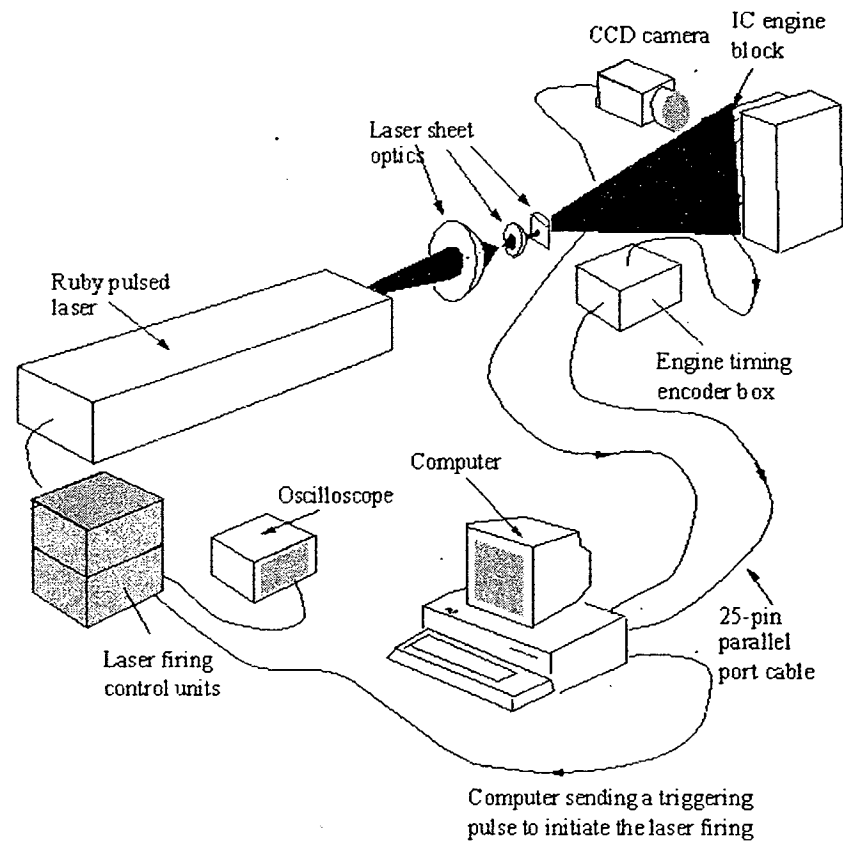
รูปที่ 2.6 การทดลองของ Westerweel แบบแสดงการทำงานของเครื่องมือของ DVIP



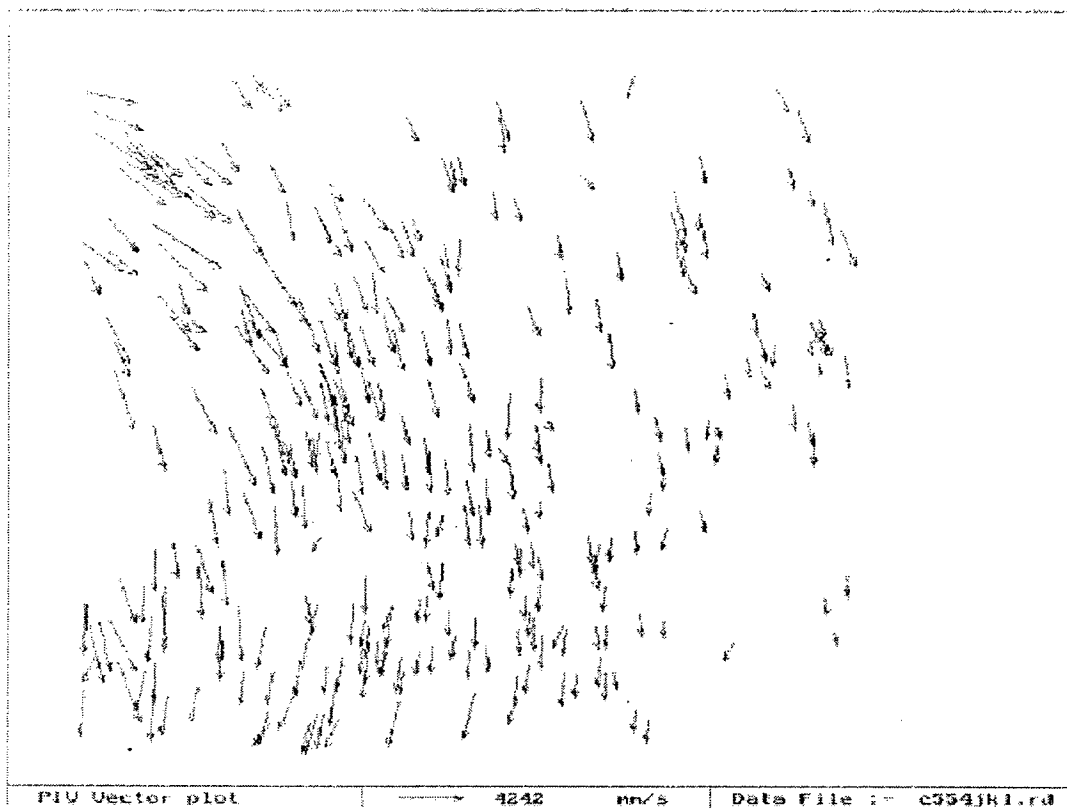
รูปที่ 2.7 การทดลองของ Westerweel ทารวิเคราะห์ข้อมูลของระบบ DVIP

อีกวิธีที่ใช้แสงเลเซอร์ในการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของตะกอนคือ Digital Particle Tracking Velocimetry ซึ่งทดลองโดย Grant, I^{6.18} เป็นระบบที่ใช้การประมวลผลจากรูปที่ได้จากกล้องวิดีโอซึ่งมีความเร็วสูงทำให้สามารถติดตามอนุภาคตะกอนได้เร็วกว่าระบบอื่นๆ Grant ได้อธิบายหลักการเบื้องต้นไว้ดังนี้

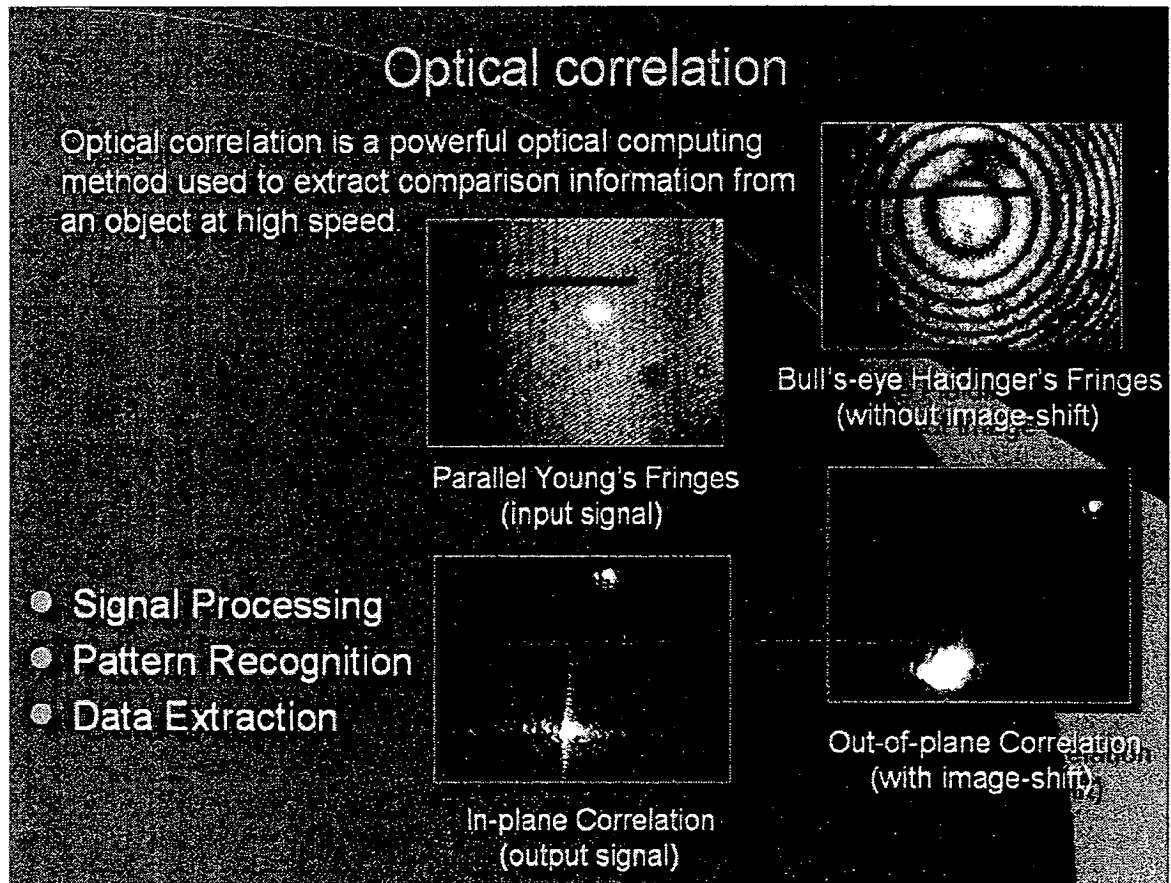
“Digital Particle Tracking Velocimetry (DPTV), in contrast, is the low particle concentration mode of DPIV. Since, the required seeding density is lower in comparison with DPIV, tracking the movement of the individual particles (~5 - 50 microns (in air)) within the area of interest yields better results than the conventional statistical analysis methods (auto-correlation / cross-correlation) due to a higher detection rate which can be achieved within the measurement window. The DPTV technique could have an imaging window larger than DPIV because of the sparsely seeded flow. DPTV could arguably yield better positional accuracy than DPIV because it allows one to one tracking of the same particle (centroid) between the two image frames. Particle Tracking Velocimetry can be extended to measure the out-of-plane and in-plane velocity components by using stereo imaging technique.” (Grant, I)^{6.18} ดังแสดงในรูปที่ 9.8-9.9



รูปที่ 2.8 แสดงการทดลองของ Grant, I โดยใช้ Digital Particle Tracking Velocimetry (DPTV)



รูปที่ 2.9 แสดงการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของตะกอนโดย Grant, I วิธี DPTV



รูปที่ 2.10 ภาพถ่ายที่ได้จากการไหลของตะกอน Drain, L.E^{6.13}

จากการศึกษาวิจัยข้างต้นสามารถสรุปได้ถึงความสามารถในการตรวจวัดการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่อยู่ในภาพในพาหะ สามารถระบุทิศทาง ขนาด ความเร่ง ความเร็ว ของอนุภาคได้อย่างแม่นยำ ซึ่งเป็นผลมาจากการใช้ลำแสงเลเซอร์ที่มีการหักเหต่ำเมื่อผ่านตัวกลางที่แตกต่างกัน เป็นการศึกษากายในท้องทดลองที่จำกัดสภาวะแวดล้อมให้ง่ายต่อการวิจัย

3.วิธีการวิจัยดังนี้

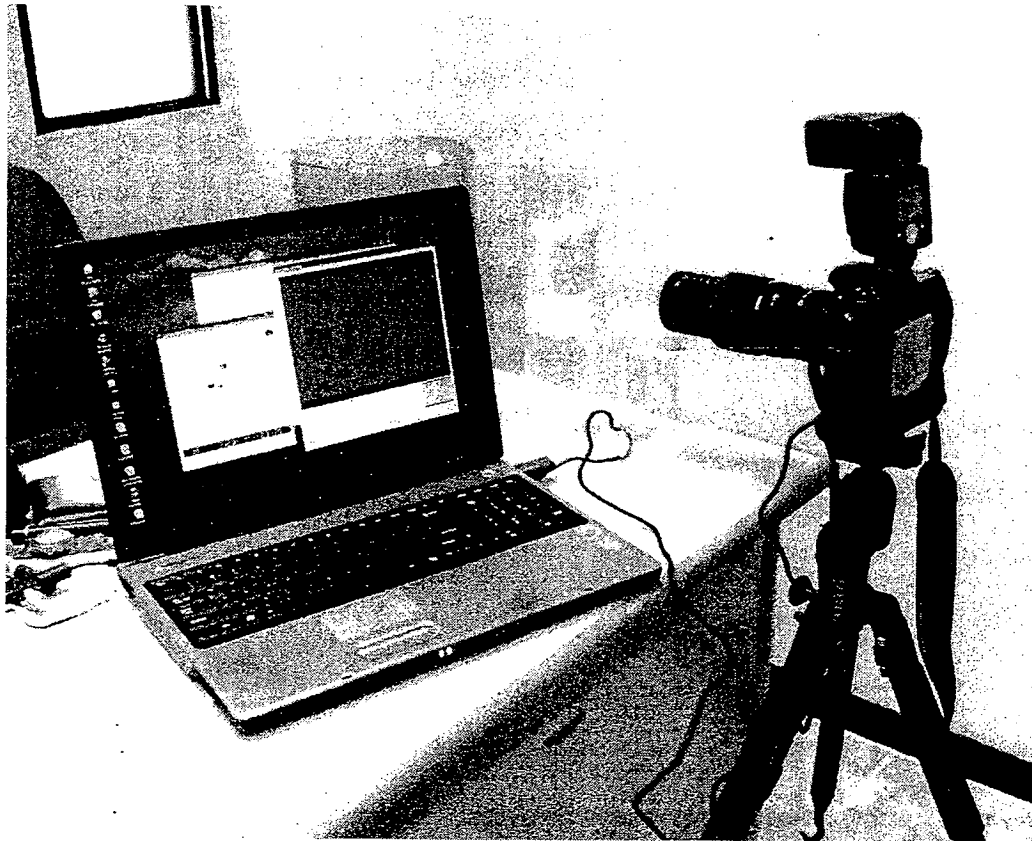
ได้ดำเนินการทดลองถ่ายภาพตะกอนเคลื่อนที่ในภาชนะและใช้การฉายแสงเลเซอร์(รูปที่ 3.1) การทดลองได้ใช้อุปกรณ์ กล้องถ่ายภาพวิดีโอที่มีกำลังขยาย 20 เท่า ซึ่งสามารถ แบ่งเป็นสองวิธีดังนี้

1.ฉายแสงเลเซอร์เข้าหาตะกอนโดยตรง การจำลองภาพการฉายแสงโดยตรงใน รูปที่ 3.2 แสงจะสะท้อนตะกอนเข้าหากล้อง วิธีนี้จะได้ภาพที่มีตัวตะกอนสีแดงและฉากพื้นหลังสีดำแสดงในรูปที่ 3.3

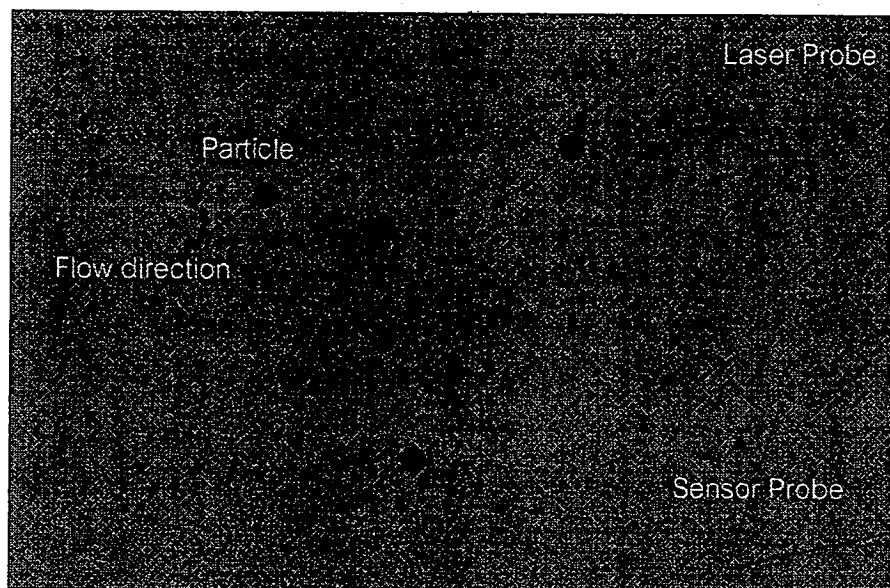
2.วิธีฉายแสงสะท้อน การจำลองภาพการฉายแสงสะท้อนในรูปที่ 3.4 แสงจะสะท้อนเข้าจากด้านหลังภาพซึ่งทำให้ได้ภาพพื้นสีแดงตะกอนสีดำแสดงในรูปที่ 3.5

วิธีการทั้งสองวิธีนี้มีความสำคัญต่อกระบวนการจัดการข้อมูลเบื้องต้น (Pre-Process Data) ในโปรแกรมส่วนที่ 1 เนื่องจากรูปแบบการจัดการสี ความเข้ม และแสงจะแตกต่างกันออกไป และส่งผลถึง

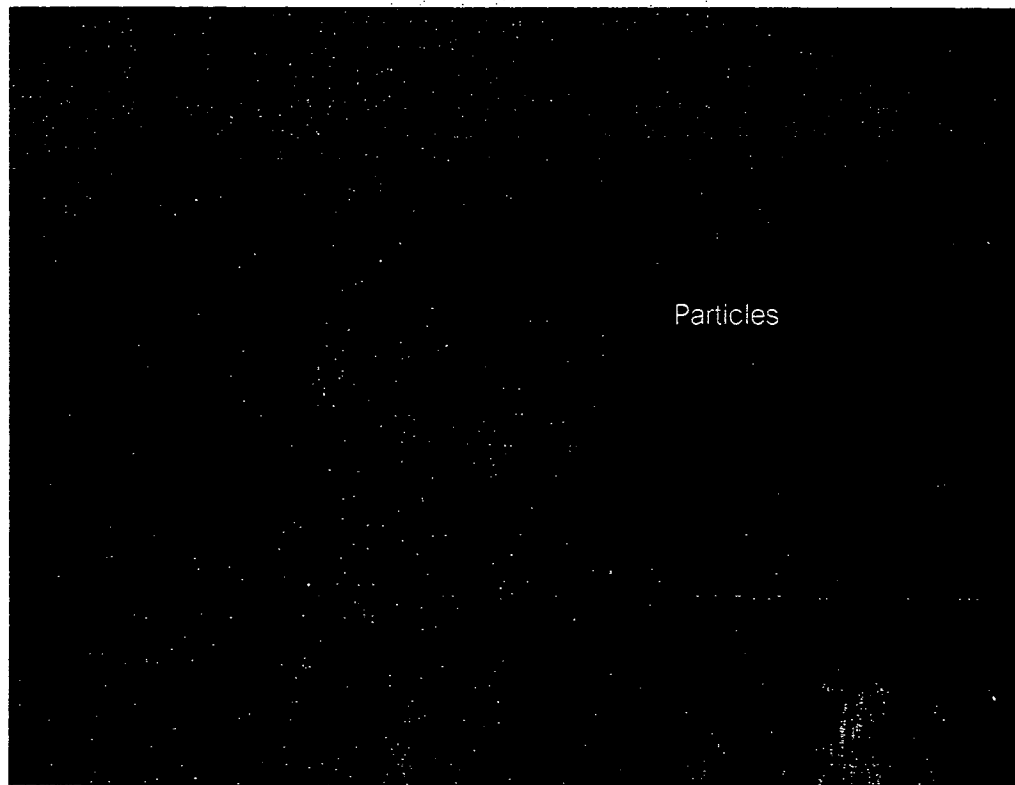
ความสามารถในการอ่านข้อมูลของโปรแกรมส่วนที่ 2 ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความแตกต่างที่เด่นชัดระหว่างตะกอนกับฉากพื้นด้านหลังของภาพที่บันทึกได้



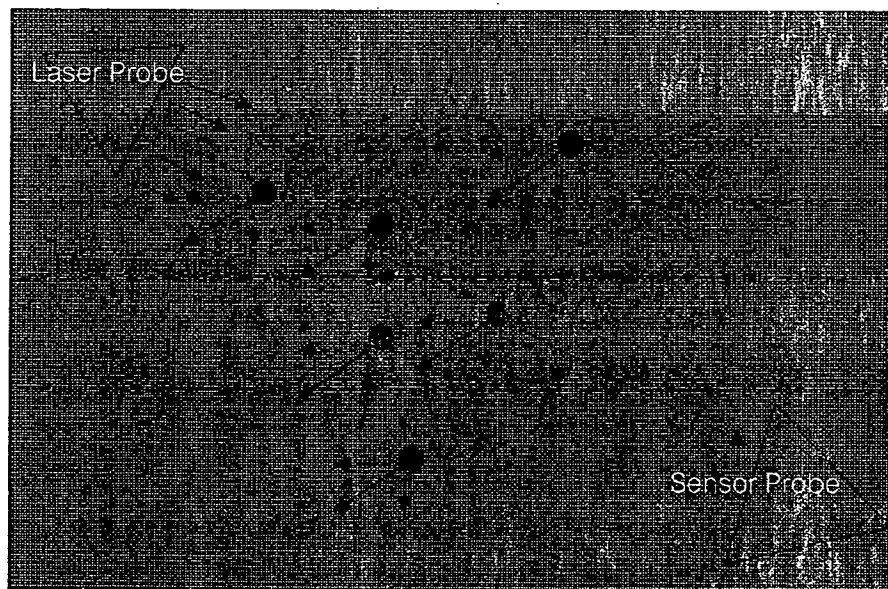
รูปที่ 3.1 การทดสอบถ่ายภาพการเคลื่อนที่ของตะกอน



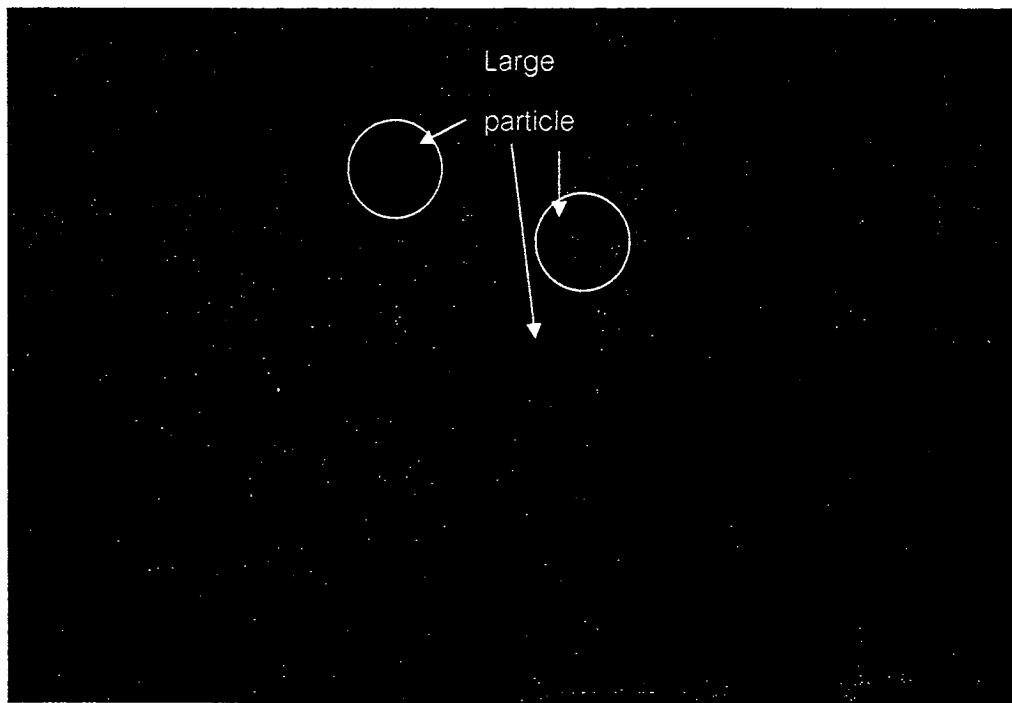
รูปที่ 3.2 ภาพจำลองการถ่ายภาพตะกอนโดยวิธีการฉายแสงจากด้านหน้า



รูปที่ 3.3 ภาพถ่ายการเคลื่อนที่ของตะกอนจากการฉายแสงเลเซอร์จากด้านหน้า



รูปที่ 3.4 ภาพจำลองการถ่ายภาพตะกอนโดยวิธีการฉายแสงสะท้อนจากด้านหลัง



รูปที่ 3.5 ภาพถ่ายการเคลื่อนที่ของตะกอนการฉายแสงเลเซอร์สะท้อนจากด้านหลัง

การวิจัยได้ดำเนินการพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้ในการคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความเร็วการไหล โดยใช้การวัดการเคลื่อนที่ของตะกอนในน้ำโดยมีความสามารถในการตรวจจับความแตกต่างในการเคลื่อนที่ของตะกอนในรูปแบบของทิศทางและขนาดของการเคลื่อนที่ แล้วสามารถแปรผลเป็นค่าความเร็วต่อเวลาที่ใช้เคลื่อนที่ได้

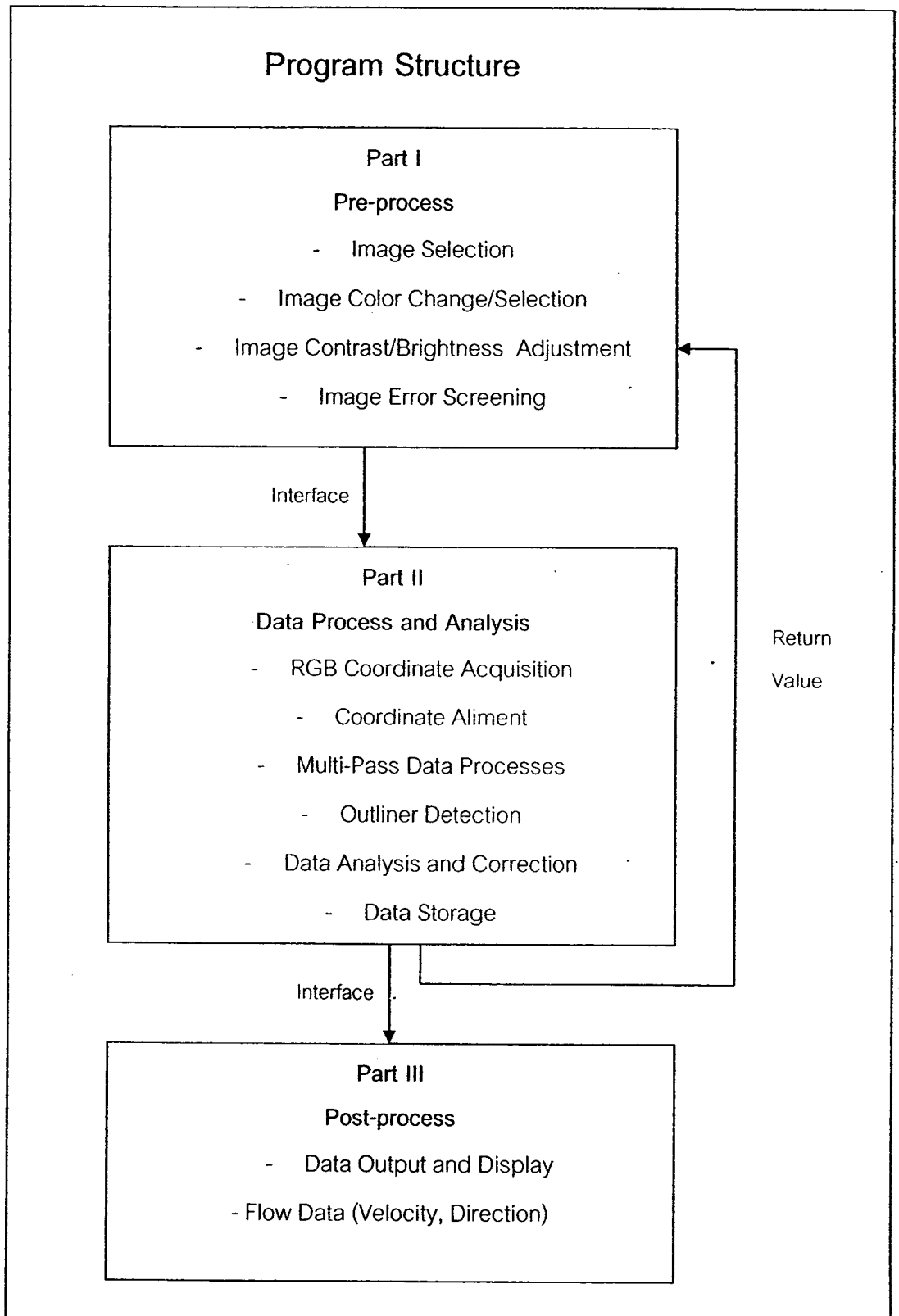
ตัวโปรแกรมจะมีโครงสร้างการทำงานแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังแสดงในรูปที่ 3.6 ส่วนแรกคือส่วนร

1. ข้อมูลเบื้องต้น (Pre-process and acquiring data) ประกอบด้วย

1. นำภาพจากเซ็นเซอร์รับภาพส่งเข้ามาสู่เครื่องคอมพิวเตอร์
2. ทำการปรับค่าต่างๆ เช่น ขนาด, ความเข้มแสง, สี, และความคมชัดของภาพให้สามารถนำมาวิเคราะห์การไหลได้
3. ทำการเลือกพื้นที่ที่จะทำการวิเคราะห์ออกจากส่วนที่อยู่นิ่ง

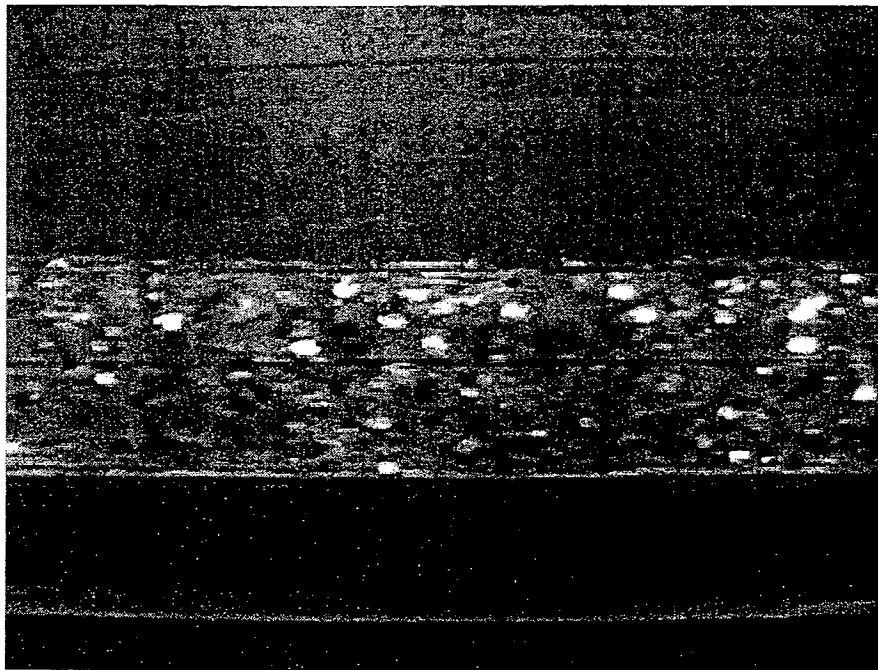
2. การประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล (Data Process and Analysis)

1. อ่านค่าระดับสีที่ได้จากภาพในรูปของ RGB ทั้งก่อนการเคลื่อนที่และหลังการเคลื่อนที่
2. เชื่อมต่อพิกัดหลักในภาพเพื่อการคำนวณขนาดการเคลื่อนที่และความเร็วของการเคลื่อนที่ของความเปลี่ยนแปลงค่าสี
3. ประมวลผลของข้อมูลภาพ ใช้ระบบการประมวลผลข้อมูลแบบหลายรอบและขนาดของข้อมูล
4. ตรวจสอบความคลาดเคลื่อนและความผิดพลาดในการคำนวณแล้วทำการตัดส่วนที่ผิดพลาดออกจากกลุ่ม
5. วิเคราะห์ข้อมูลแล้วทำการปรับแก้ข้อมูล
6. เก็บข้อมูลต่างๆ เช่น ความเร็ว พิกัด ทิศทาง ของความเร็วที่จุดต่างๆ

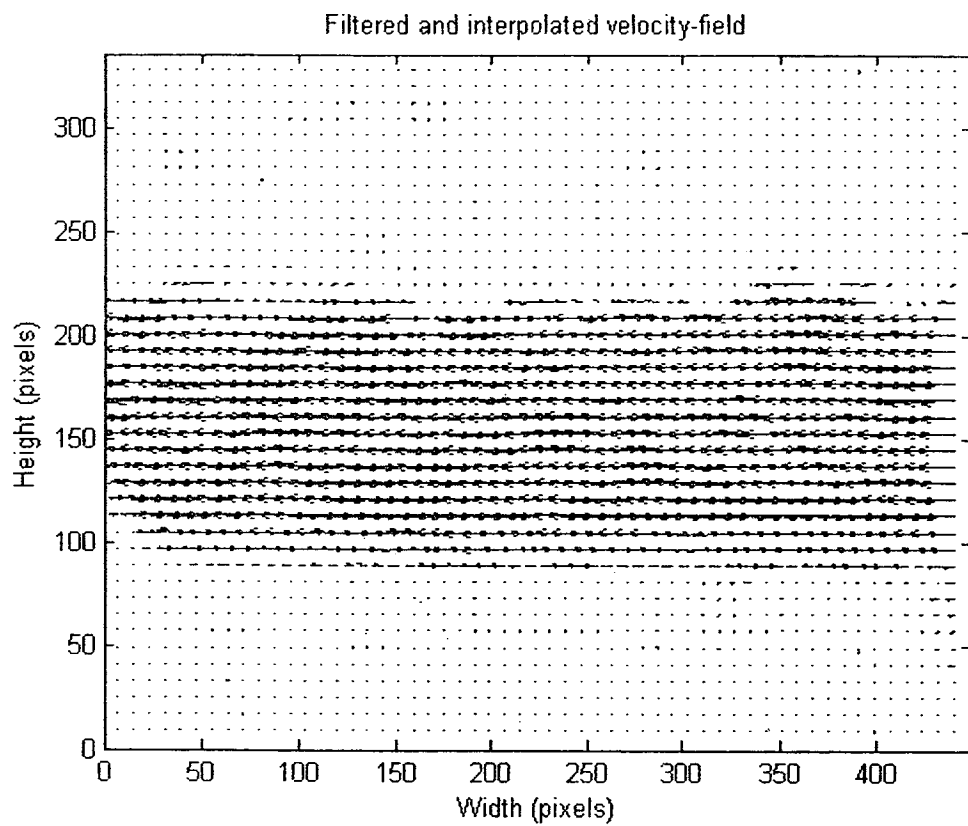


รูปที่ 3.6 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรมตรวจวัดการเคลื่อนที่ของตะกอน

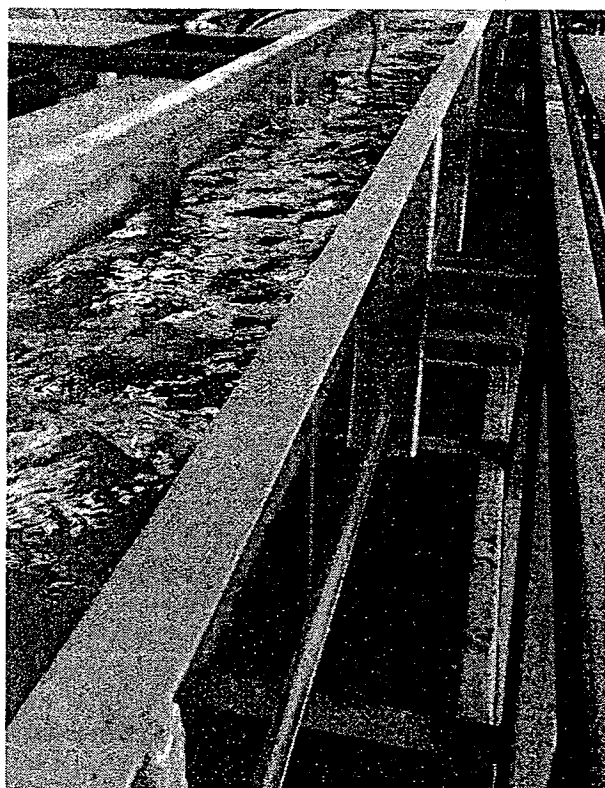
ทั้งนี้ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมส่วนที่ 2 เพื่อใช้ในการทดสอบการคำนวณนำโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นส่วนที่ 2 มาทดสอบพบว่าสามารถใช้งานได้ โดยมีความผิดพลาดในการอ่านข้อมูลรอบพื้นที่ของการเคลื่อนที่และขนาดของการเคลื่อนที่ของอนุภาคและการคำนวณความเร็วเฉลี่ยของการไหล ซึ่งจะต้องทำการปรับแก้ในโปรแกรมส่วนแรกเพื่อปรับวิธีการระบุขนาดการจำกัดพื้นที่ของการอ่านข้อมูล และปรับแก้ในโปรแกรมได้ผลดังรูปที่ 3.7 และรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.7 ภาพการไหลด้านข้าง



รูปที่ 3.8 ผลการอ่านค่าการไหลที่คำนวณได้จากโปรแกรม

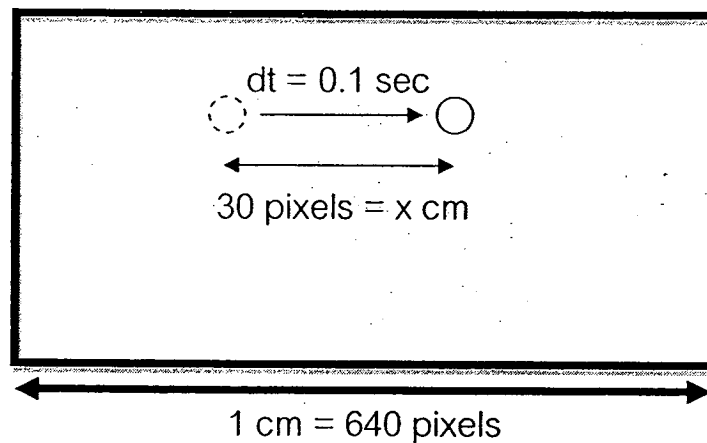


รูปที่ 3.9 ภาพทางน้ำ(Flume) ทดลองในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน



รูปที่ 3.10 ภาพการควบคุมแสงในการทดลอง) ทดลองในห้องปฏิบัติการศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรม
ชลประทาน

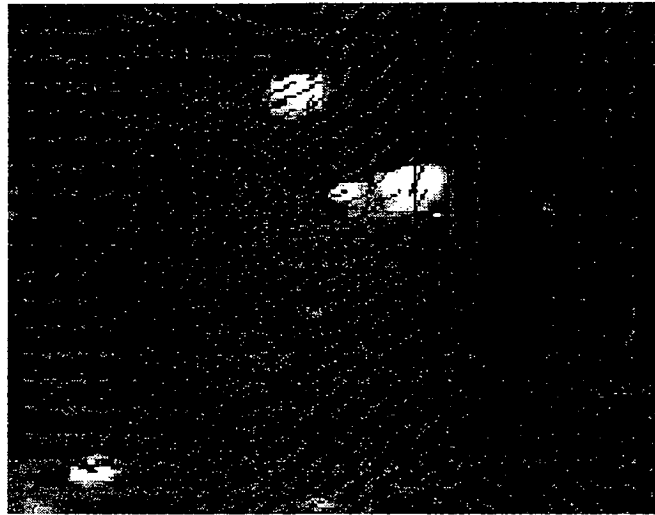
การคำนวณหาความเร็วของการเคลื่อนที่ของตะกอนจะทำได้โดยการเปรียบเทียบขนาดของการเคลื่อนที่ต่อ
ค่าพิกัดที่รู้ขนาดที่แท้จริงอยู่แล้วหรือขนาดของภาพทั้งหมด เช่น



รูปที่ 3.11 การคำนวณปริมาณการเคลื่อนที่ของอนุภาค

สามารถคำนวณความเร็วของการเคลื่อนที่ได้ คือ $30/640 \times 1 \text{ cm} = 0.0469 \text{ cm} / 0.1 \text{ sec}$
 ความเร็วการเคลื่อนที่ $= 0.469 \text{ cm/sec}$

ความเร็วเฉลี่ยของการเคลื่อนที่จะยังใช้การเฉลี่ยค่าการเคลื่อนที่แบบจุด โดยใช้การระบุพื้นที่ที่จะทำการเฉลี่ยความเร็วแล้วจึงนำความเร็วในพื้นที่นั้นมาคำนวณค่าเฉลี่ยอีกครั้งหนึ่ง ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.12 และแสดงค่าปริมาณการเคลื่อนที่ของอนุภาคแบบระบุพื้นที่ใน รูปที่ 3.13



รูปที่ 3.12 รูปการเคลื่อนที่ของอนุภาค

-55.7377	-85.6442	-127.839	-105.28	-30.0005	3.594196	16.8148	16.66871
-19.9881	-11.607	-48.6936	-67.538	7.735901	63.3865	74.33189	46.45898
11.91778	39.02638	35.94668	6.416628	37.7528	98.62878	132.132	57.38755
29.66273	36.59812	36.25442	36.90827	59.96278	100.0691	111.9697	-3.47117
43.20287	42.59934	45.68184	50.29636	70.19764	86.55173	49.80688	-37.0214
53.75833	51.20861	56.08799	63.03574	72.78107	75.73381	58.14266	42.24084
81.29679	65.78968	60.46528	65.33802	68.09936	71.4066	79.96133	103.9935
117.3543	77.75284	56.5555	57.39937	57.43591	57.94002	60.66699	74.8648
108.8984	80.95355	49.57703	43.01932	38.72419	32.29767	19.72517	5.133901
78.79231	72.55632	41.41402	26.65536	18.51783	7.223161	-9.14152	-21.4586
62.03902	56.54325	30.99537	15.06754	6.360093	-4.1737	-13.9887	-18.4978
48.0658	43.50024	25.38284	13.54599	8.736879	3.873086	-0.78778	-3.03871
39.74337	33.68878	27.04965	22.44161	24.01943	28.88804	34.44251	32.10637
35.95775	31.60332	33.47492	37.017	43.46413	54.57973	75.76733	84.70596
24.24177	24.24801	36.63273	50.25201	58.14283	66.36932	92.41678	119.5902
14.09031	9.431828	19.96155	46.78441	62.38409	68.15812	85.0347	102.1745
-6.01441	-9.1512	-1.06645	18.35508	46.15687	56.86611	60.40737	40.36237

รูปที่ 3.13 ตัวอย่างค่าปริมาณการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่คำนวณได้ในหน่วยของฟิกเซลต่อวินาที (ค่าภายในกรอบสีแดงในรูปที่ 3.12)

การคำนวณความเร็วเฉลี่ยภายในกรอบสีแดงเฉลี่ยปริมาณการเคลื่อนที่และทิศทางจะได้ค่าความเร็วเฉลี่ยและทิศทางเฉลี่ยจากการคำนวณ

4.ผลและวิจารณ์ผล

การทดสอบโปรแกรมคำนวณความเร็วการไหลของน้ำ ได้ทำการทดสอบโดยการเปรียบเทียบความเร็วและทิศทางการไหลจริงกับความเร็วและทิศทางการไหลที่โปรแกรมคำนวณได้ ซึ่งได้ทำการทดสอบวัดความเร็วการไหลของน้ำในอ่างทดลองขนาดเล็ก และทางน้ำจำลองขนาดความยาว 10 เมตร ภายในห้องปฏิบัติการทดลองทางชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มีการควบคุมปริมาณแสงและแปรผันปริมาณแสงและความเร็วในการเก็บข้อมูล ได้ทำการแปรผันความเร็วและทิศทางการไหลของการไหลสภาพแสงในพื้นที่เพื่อทดสอบความสามารถในการตรวจจับการเคลื่อนที่ของอนุภาคตะกอนในน้ำ

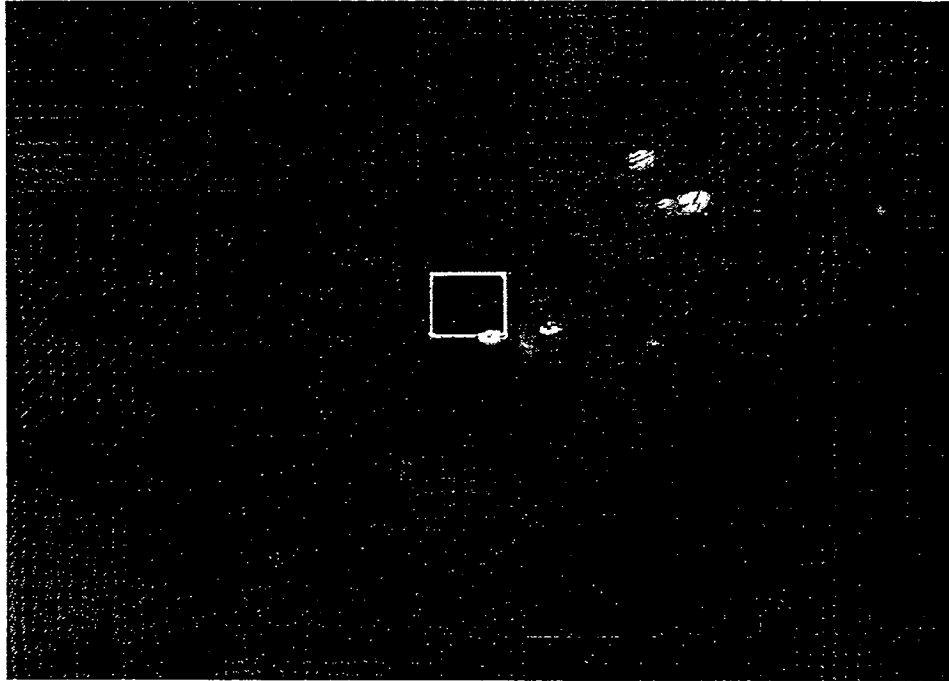
เนื่องจากข้อจำกัดของเซ็นเซอร์รับภาพที่จำกัดอยู่ที่ 26 ภาพต่อวินาทีหรือในแต่ละภาพจะมีระยะยาวนานเพียง 1/26 ของวินาที ทำให้ไม่สามารถตรวจจับอนุภาคที่มีความเร็วเกินจึงไม่ความประมาณ 10 เซนติเมตรต่อวินาทีได้เพราะจะมีความคลาดเคลื่อนสูง จะไม่สามารถแสดงตำแหน่งของอนุภาคเป็นจุดได้ ค่าที่ได้ จะเป็นแถบยาวหรือมีการกระโดดข้ามของตำแหน่งและทิศทางการเคลื่อนที่ ทำให้ไม่สามารถคำนวณปริมาณการเคลื่อนที่ได้

ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณจะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ค่าพิกัด ทิศทาง และ ปริมาณการเคลื่อนที่ ซึ่งสามารถนำมาแสดงอยู่ในรูปของตาราง สามารถนำมากราฟต่างๆดังที่สร้างโดยโปรแกรมประกอบด้วย

-18.8217	-12.8429	+13.3581	-13.6938	-13.8656	-14.2123	-15.6093	-20.6727	-31.6947	-52.7951	-43.8737	-2.66998	16.98168	19.62942	22.46734	27.22104	18.98616	5.545908
-23.7126	-19.4801	-19.9514	-20.4567	-21.0491	-21.8651	-23.1891	-24.7674	-24.7899	-21.8347	-9.64005	2.463547	4.352089	5.434109	5.523154	3.904689	-2.08796	-9.45333
-25.1576	-22.0811	-22.53	-23.125	-23.7899	-24.332	-24.33	-22.9865	-20.1094	-14.6714	-9.5998	-6.90808	-4.5715	-3.08968	-3.17038	-5.86273	-10.6401	-16.7972
-25.6515	-22.8082	-23.0348	-23.5035	-24.1606	-24.7899	-25.0191	-24.5468	-23.0109	-20.9207	-18.5247	-15.43	-11.9829	-8.6635	-6.03398	-4.68952	-6.03333	-10.2767
-26.4749	-22.9441	-22.7241	-22.7865	-23.28	-24.2405	-25.5702	-26.9728	-28.0942	-28.3572	-27.2011	-24.5594	-20.6061	-15.5884	-9.82127	-3.76238	1.677772	1.262787
-28.1966	-23.3756	-22.6417	-21.9648	-21.7404	-22.3492	-24.0237	-26.7374	-30.0488	-33.05	-34.653	-34.1619	-31.4868	-26.6959	-19.8023	-11.0309	0.336917	-0.1579
-30.6818	-24.5051	-23.6313	-22.1844	-20.6546	-19.7173	-20.0856	-22.2988	-26.5079	-32.2803	-38.0655	-41.825	-42.7297	-40.9331	-36.2272	-28.1887	-17.9496	-18.6863
-33.051	-25.8662	-25.8813	-24.4946	-21.8478	-18.704	-16.056	-15.2501	-17.3886	-23.3126	-33.0899	-43.1853	-49.8883	-53.3914	-54.3115	-51.3776	-43.7645	-39.8423
-33.9428	-25.8461	-28.1061	-28.74	-26.7361	-22.234	-16.4405	-10.2346	-6.88919	-7.09227	-15.0029	-32.3463	-47.7671	-57.5017	-65.5255	-72.1541	-71.6423	-61.0961
-32.2803	-22.3625	-27.0346	-32.1549	-34.2214	-31.7849	-24.6544	-15.6229	-1.05783	17.67342	17.58172	-5.63686	-31.5021	-48.6732	-61.4966	-77.0736	-96.1361	-96.1235
-27.7441	-15.1886	-19.1208	-28.1225	-39.5399	-43.3267	-42.7179	-30.042	9.639149	49.10768	52.31828	28.74218	-2.87538	-26.6498	-41.0209	-55.7377	-85.6442	-127.839
-24.0542	-2.23703	3.6305	-11.2629	-34.8848	-48.163	-57.7715	-30.5833	27.49442	66.20887	74.58045	62.5399	36.86118	7.20217	-11.284	-19.9881	-11.607	-48.6936
-24.3352	21.32899	40.61778	9.937391	-14.8154	-33.2342	-18.922	36.59462	62.63432	70.10249	84.57741	88.87453	75.08108	45.54973	18.67192	11.91778	39.02638	35.94688
-1.03372	61.57997	69.0245	21.22553	8.896351	13.23918	43.67604	55.70285	42.16389	50.53877	73.19072	98.87948	100.4453	72.73092	38.65232	29.66273	36.59812	36.25442
48.46777	90.51764	69.57317	6.991804	19.33493	49.13998	28.12886	-14.6455	-22.3869	13.63448	53.65424	94.34998	113.3625	96.20951	63.0335	43.20287	42.99934	45.68184
87.81865	101.5312	63.40903	-2.49407	38.95523	64.57901	-10.1605	-75.6829	-49.5297	41.11815	89.39158	115.0954	131.5966	124.6023	85.27259	53.75833	51.20851	56.08799
112.39	120.0091	81.83814	35.3607	76.98749	84.46373	7.174342	-52.7199	9.703968	124.8896	150.5835	134.3124	126.2865	125.3076	104.7547	81.29679	65.78968	60.46528
130.5419	140.2013	110.1846	81.1817	105.1695	99.0544	60.0505	27.64599	38.7118	123.8809	156.0508	124.731	91.19096	83.77839	119.0394	117.3543	77.75284	56.5555
140.3503	149.5671	119.8383	91.59156	104.2895	106.9609	110.048	141.2757	142.2002	118.2442	145.9461	148.4725	74.42626	31.52531	73.77157	108.8884	80.95355	49.57708
136.877	141.0909	108.5265	77.25291	84.00489	99.78184	126.2565	204.014	250.2507	142.1215	87.95366	122.1551	90.67082	32.9667	34.63274	78.79231	72.55632	41.41402
118.1089	116.4895	87.60143	59.24376	61.47345	67.80336	95.01951	145.4325	152.0695	98.77107	51.14988	71.9573	88.86437	54.80444	41.58394	62.08902	56.54325	30.99537
87.83467	77.9684	61.84943	48.89951	41.59718	19.91392	31.00881	70.29965	42.17378	1.190855	-0.08319	23.18801	50.43214	46.19137	41.85651	48.0658	43.50024	25.38284
55.44699	38.76184	10.09422	49.06098	63.94215	-9.72131	-27.9916	-8.55522	-25.1253	-88.2315	-131.06	-73.2065	7.316881	35.60782	44.20855	39.74337	33.68878	27.04665
31.8978	17.22306	-26.2687	56.51956	108.6254	-7.59311	-64.4559	-51.1142	-51.4888	-143.085	-204.181	-136.526	-44.4324	8.22948	33.9543	35.95775	31.60332	33.47492
22.93737	16.15991	5.833249	61.92418	98.92911	15.62362	-63.7966	-75.9671	-94.8056	-169.793	-205.047	-157.035	-85.2951	-26.0321	12.74512	24.24177	24.24801	36.63273
24.65724	26.46929	39.04033	53.74863	57.70389	25.62407	-33.8431	-79.8173	-122.689	-162.541	-177.285	-156.166	-108.318	-51.4776	-3.33952	14.09031	9.431828	19.96155
28.59669	33.06301	37.12764	38.60744	33.07879	17.99515	-9.52809	-54.6275	-108.673	-141.547	-159.385	-154.254	-121.613	-70.1383	-20.1699	-6.01441	-9.1512	-1.06645
28.42151	30.19723	29.61477	27.08506	25.01111	17.23476	-1.94334	-31.201	-74.1203	-117.533	-144.104	-150.459	-105.273	-16.3906	-27.9218	-82.6673	-48.1716	-12.9182
22.09874	21.82911	20.9835	20.50215	23.66352	19.8729	-4.05801	-26.862	-56.2201	-98.8038	-130.914	-127.13	-59.7289	49.40835	-39.3625	-156.66	-87.122	-28.2784
9.730548	7.947123	6.520964	6.732004	9.688458	12.55186	-4.54205	-32.593	-48.9446	-87.4387	-130.348	-113.525	-46.9782	10.70915	-58.6171	-136.117	-92.6397	-39.0305
-8.55584	-12.9524	-17.5451	-22.1338	-26.9261	-29.3291	-23.5288	-17.9566	-14.7	-69.4895	-140.329	-144.285	-103.225	-72.7868	-79.2551	-90.5408	-77.2465	-41.1985
-30.931	-38.9487	-48.7326	-61.2995	-78.0295	-100.616	-76.0659	-6.83947	22.89942	-48.5533	-157.494	-198.965	-177.753	-149.622	-127.081	-107.907	-87.425	-48.5938
-52.6339	-63.2671	-76.5649	-93.9519	-118.109	-155.247	-123.742	11.04696	77.07251	-28.0375	-169.281	-222.886	-210.897	-173.82	-142.389	-137.37	-122.863	-75.36
-67.4667	-77.3886	-88.8224	-102.276	-118.37	-138.542	-96.945	70.57544	141.9059	-8.10087	-156.083	-201.949	-171.542	-98.0647	-61.4888	-78.7174	-100.608	-87.7123
-70.9021	-76.577	-80.9002	-82.497	-78.6722	-61.5819	-7.59385	120.9079	156.9259	14.18308	-122.684	-162.289	-112.048	-34.8523	1.819513	-10.0426	-50.339	-72.5574
-61.4693	-62.1762	-59.197	-50.0056	-30.6703	3.805051	50.57713	110.1229	111.3327	13.1987	-90.049	-120.31	-84.2189	-29.547	7.064512	11.82201	-13.6842	-42.8841

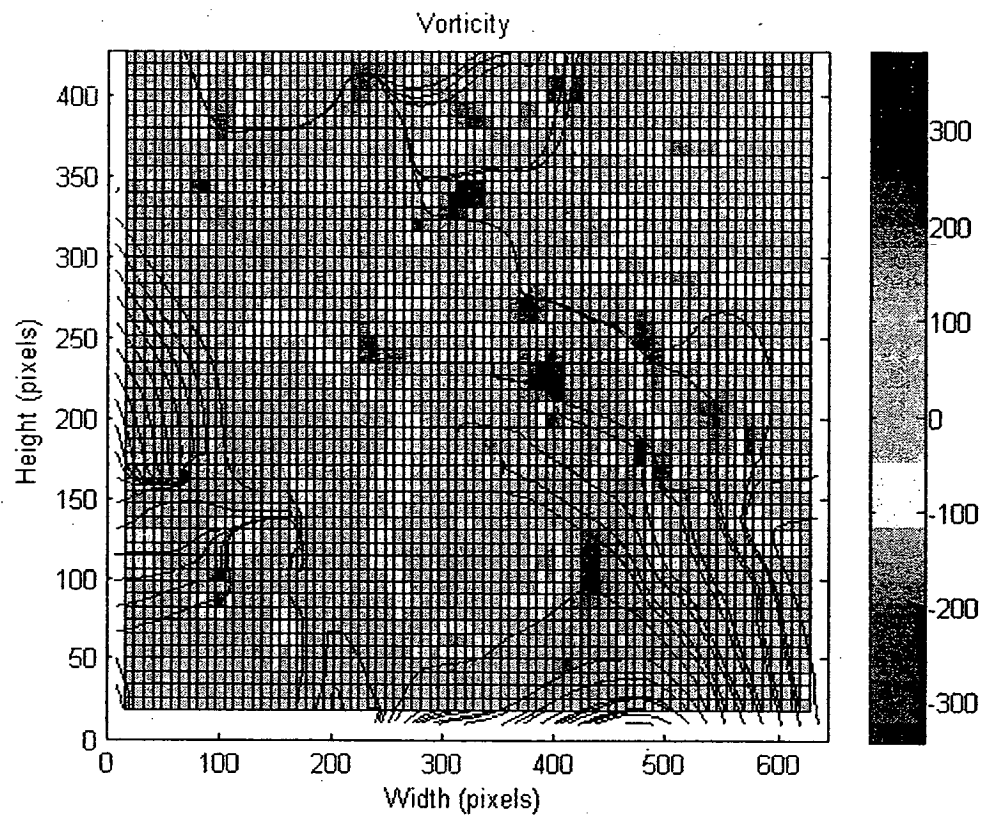
รูปที่ 4.1 ปริมาณการเคลื่อนที่ที่ได้จากการคำนวณ

1. ทิศทางและขนาดของการเคลื่อนที่ของอนุภาคดังแสดงในรูปที่ 4.2 ทิศทางการเคลื่อนที่และขนาดถูกเขียนลงทาบบนรูปเพื่อแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของตะกอน(สีขาว) โดยรูปตะกอนถูกถ่ายโดยวิธีการฉายแสงโดยตรงแล้วได้มีการเปลี่ยนสีเพื่อเพิ่มความเด่นชัดของตะกอนในภาพ เพื่อความสะดวกในการคำนวณหาการเคลื่อนที่



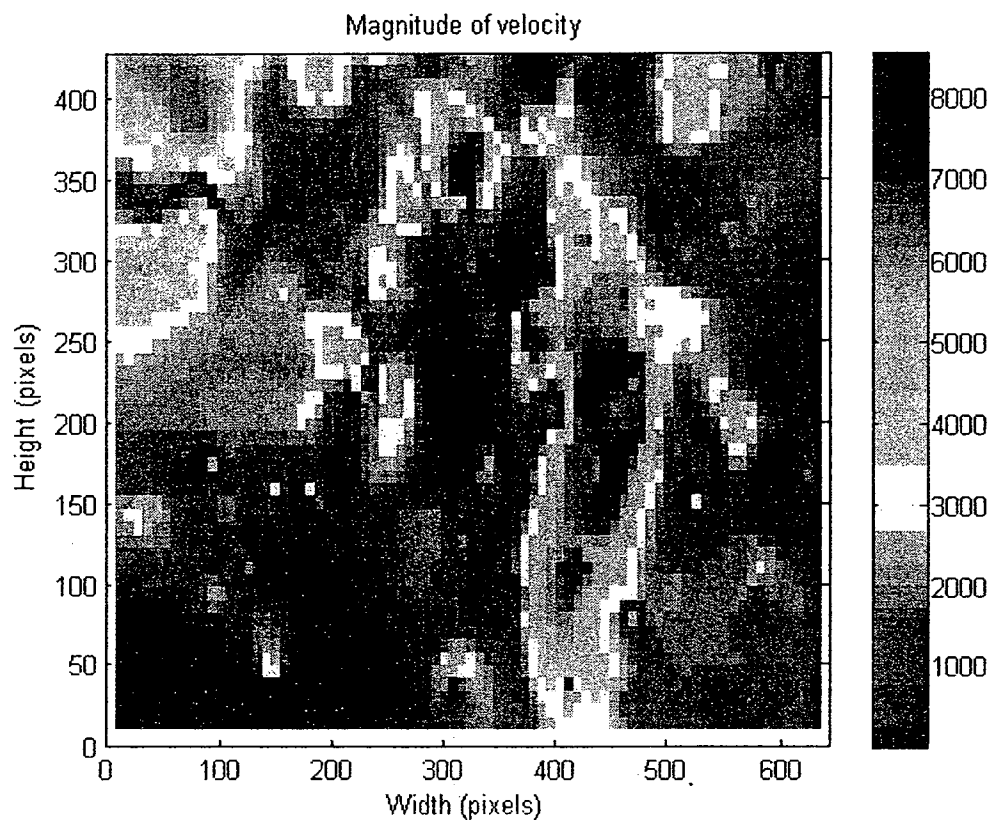
รูปที่ 4.2 ภาพทิศทางการเคลื่อนที่ของตะกอนแสดงในรูปของเวกเตอร์

2. การหมุนแปรปรวน (Vorticity) สามารถใช้ในการพิจารณาปริมาณการเคลื่อนที่แบบหมุนของตะกอนในภาพเพื่อปรับแก้ความเร็วเฉลี่ยทั้งหมดได้แสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ปริมาณการหมุนแปรปรวน (Vorticity)

3. ความเร็ว (Magnitude of Velocity) แสดงในรูปที่ 4.4

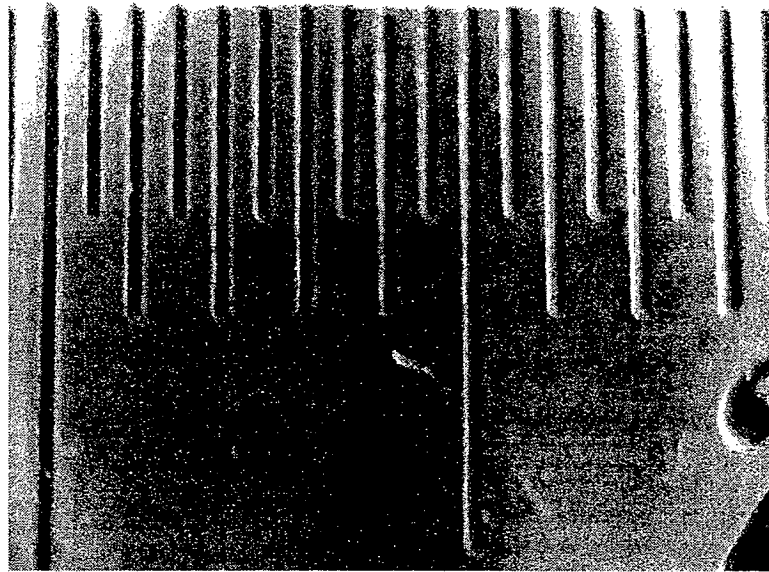


รูปที่ 4.4 ปริมาณความเร็ว (Magnitude of Velocity)

เนื่องจากขนาดพื้นที่ที่เซ็นเซอร์รับได้มีขนาดเล็กมากซึ่งประมาณ 1 ซม. ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างเซ็นเซอร์กับตะกอน ดังแสดงในภาพที่ 4.5 ซึ่งจะแบ่งเป็น แนวราบ 320จุด และแนวตั้ง 240จุด ซึ่งเพื่อทำการขยายขนาดโดยการอินเทอร์โพลแล้วจะได้ข้อมูลในขนาด 640จุดและแนวตั้ง 480จุด และทำการปรับเฉดสีและปริมาณแสง เพื่อเพิ่มความชัดเจนของภาพจะสามารถแสดงข้อมูลได้ชัดเจนกว่าเมื่อทำการคำนวณหาการเคลื่อนที่ด้วยโปรแกรม

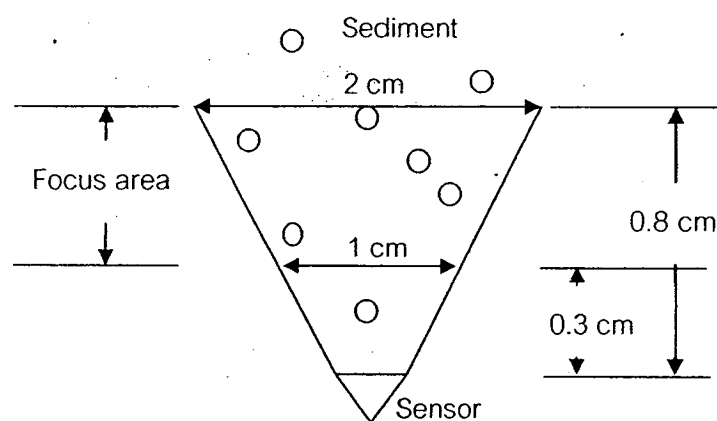
ซึ่งจากการแบ่งขนาดภาพที่รับได้ออกเป็น 640ส่วนในแนวราบ หรือเท่ากับประมาณ 1/640 ซม.ต่อหนึ่งจุด และ 480ส่วนในแนวตั้ง หรือเท่ากับประมาณ 1/480 ซม.ต่อหนึ่งจุด ค่าที่ได้จึงมีความละเอียดสูง เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของตะกอนตัวอย่างที่เก็บมาจากคลองชลประทาน

ตะกอนตัวอย่างที่เก็บมาจากคลองชลประทานมีขนาดตั้งแต่ประมาณ 5 พิกเซล จนถึง 45 พิกเซล ซึ่งเท่ากับ 0.008 - 0.07 ซม.



รูปที่ 4.5 ภาพที่ได้จากการถ่ายสเกล 1 ซม.

จากการเปรียบเทียบผลการคำนวณการเคลื่อนที่ของตะกอนจากภาพ ได้ทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากคำนวณโดยโปรแกรมกับค่าที่ได้จากการประมาณวัดการเคลื่อนที่โดยการแบ่งตารางและนับปริมาณการเคลื่อนที่จริงพบว่า เซ็นเซอร์ที่ใช้มีจุดที่ภาพมีความคมชัดในพื้นที่โฟกัสมีความกว้างทำให้ค่าการเคลื่อนที่ในแกนราบมีการแปรปรวนสูงดังแสดงในรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าความกว้างของพื้นที่ที่อยู่ในโฟกัสมีอยู่ในระหว่าง 1 - 2 ซม. ซึ่งไม่สามารถแบ่งแยกตะกอนได้ว่าอยู่ในระยะใดทำให้ไม่สามารถระบุระยะที่แท้จริงได้การประมาณค่าที่ได้จึงมีความคลาดเคลื่อนสูง ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าการเคลื่อนที่ที่คำนวณได้จากโปรแกรมจะมามีค่าใกล้เคียงกันดังแสดงในตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.6 แสดงระยะการคำนวณของเซ็นเซอร์

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณความเร็วการเคลื่อนที่ระหว่างโปรแกรมและวัดจริง

การทดสอบ	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Flume 1	Flume 2	Flume 3
โปรแกรม cm/s	0.112	0.547	0.721	3.158	10.170	11.814
วัดจริง cm/s	0.07-0.2	0.34-0.7	0.39-0.94	2.44-5.25	8.54-14.5	8.7-17.8

5.สรุปผลการวิจัยและเสนอแนะ

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรม ในการตรวจวัดความเร็วการไหลของน้ำโดยวิธีการวัดเคลื่อนที่ของอนุภาคในน้ำ โดยใช้แสงเลเซอร์เป็นแหล่งกำเนิดแสง) ทดลองภายในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน ได้ผลการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่สามารถใช้เป็นตัวแทนของการเคลื่อนที่ของกระแสน้ำได้ การเคลื่อนที่ของตะกอนในน้ำมีความแปรปรวนของทิศทางและความเร็วเนื่องจากขนาด

การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากคำนวณโดยโปรแกรมกับค่าที่ได้จากการประมาณวัดการเคลื่อนที่โดยการแบ่งตารางและนับปริมาณการเคลื่อนที่จริงพบว่า เซ็นเซอร์ที่ใช้มีจุดที่ภาพมีความคมชัดในพื้นที่โฟกัสมีความกว้างทำให้ค่าการเคลื่อนที่ในแกนราบมีการแปรปรวนสูงดังแสดงในรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าความกว้างของพื้นที่ที่อยู่ในโฟกัสมีอยู่ในระหว่าง 1 – 2 ซม. ซึ่งไม่สามารถแบ่งแยกตะกอนได้ว่าอยู่ในระยะใดทำให้ไม่สามารถระบุระยะที่แท้จริงได้การประมาณค่าที่ได้จึงมีความคลาดเคลื่อนสูง ซึ่งปัญหาที่พบคือเซ็นเซอร์มีระยะโฟกัสกว้างต้องใช้การประมาณค่าในการหาค่าเฉลี่ยความเร็วการเคลื่อนที่ของตะกอน ซึ่งเซ็นเซอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าจะมีราคาสูงมากจึงไม่สามารถนำมาทดลองได้

อีกปัญหาที่พบคือความไวแสงของเซ็นเซอร์ที่ใช้มีความไวแสงมีเพียงพอกับความเร็วของน้ำในคลองชลประทานคือ ประมาณ 80-200 ซม/วินาที ถึงแม้ว่าจะเพิ่มจำนวนแหล่งกำเนิดแสงแล้วก็ตาม ซึ่งถ้าเปลี่ยนเซ็นเซอร์ให้มีความไวแสงมากขึ้นและมีความเร็วภาพมากขึ้นถึงระดับ 200-600 ภาพ/วินาทีจะสามารถใช้วัดความเร็วในช่วงดังกล่าวได้

ระดับน้ำที่ลึกขึ้นจะมีผลต่อการวัดความเร็ว เพราะตะกอนที่ขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อระดับน้ำลึกมากๆหรือที่เรียกตะกอนท้องน้ำจะมีขนาดใหญ่มากกว่าตะกอนที่ผิวน้ำจะทำให้ค่าที่ได้จากการคำนวณไม่เท่ากันเพราะตะกอนท้องน้ำใช้การกระโดดในการเคลื่อนที่ไปตามกระแสน้ำจะมีความเร็วเฉลี่ยของการเคลื่อนที่น้อยกว่าตะกอนแขวนลอยที่ลอยไปตามน้ำทำให้ค่าความเร็วที่วัดได้มีค่าแตกต่างกับออกไป

จากผลการวัดความเร็ว ค่าความเร็วที่ได้ระหว่างโปรแกรมและวัดจริงมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกันมีความแปรปรวนมากขึ้นเมื่อความเร็วของการไหลเพิ่มมากขึ้น การวัดในทางน้ำมีการกระจายตัวของความเร็วมากกว่าเนื่องจากมีความเร็วของการไหลมากกว่าการวัดความเร็วในถังน้ำ