การวัดความเร็วของของไหล โดยวิธีภาพถ่ายของอนุภาค

ร.อ.ไกรสิทธิ์ มหิวรรณ
กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกลเรือ

ในชีวิตประจำวันเราได้พึ่งพาความรู้ทางด้านพลศาสตร์ของของไหล เช่น ในการออกแบบเตาไมโครเวฟ การขนส่งผลไม้ในตู้แช่ไปยังตลาด การออกแบบเครื่องยนต์ของรถยนต์ หรือเครื่องบิน การพยากรณ์อากาศ การขนส่งน้ำมันในท่อ การส่งน้ำไปตามท่อต่าง ๆ ของระบบน้ำประปา และอื่น ๆ อีกมากมาย ซึ่งการจะทำให้กิจกรรมต่าง ๆ เหล่านี้มีประสิทธิภาพสูงสุด เราจะต้องเข้าใจถึงพลศาสตร์ของของไหลให้มากที่สุด

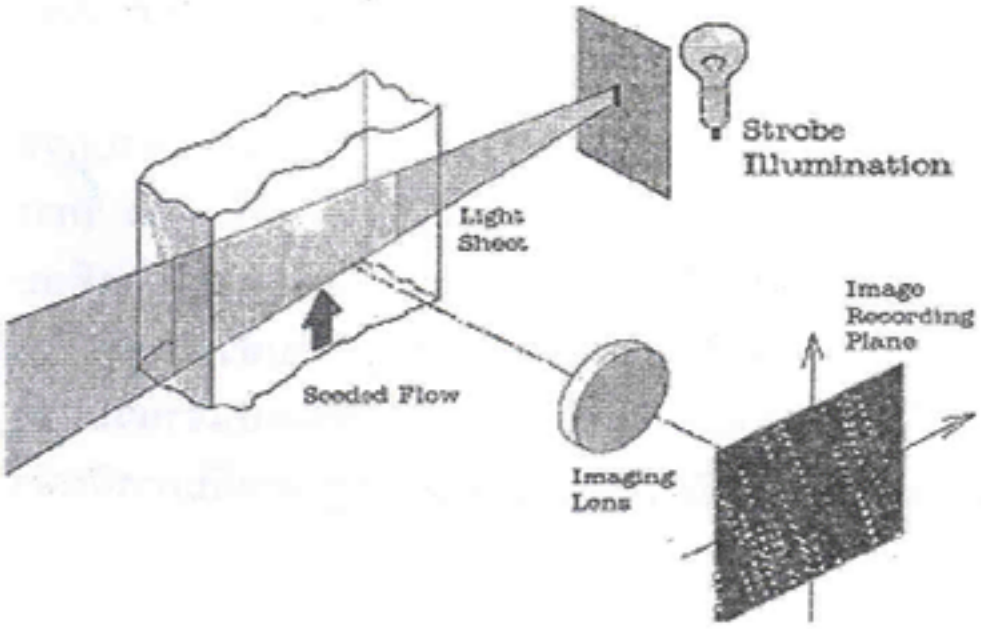
Particle Image Velocimetry (PIV) คือการวัดความเร็วของของไหล โดยการใช้ภาพของอนุภาคที่แขวนตัวอยู่ในของไหล เป็นวิธีการใหม่ที่นักพลศาสตร์ของไหลได้พัฒนาขึ้นในช่วงศตวรรษที่ผ่านมา เพื่อใช้วิเคราะห์ปัญหาบางอย่างที่ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ในอดีต นั่นก็คือ ทำอย่างไรจึงจะสามารถวิเคราะห์การไหลที่ซับซ้อนได้อย่างทันทีทันใดทั่วทั้งพื้นที่การไหลที่สนใจ (Instantaneous complex flows measurement) โดยปราศจากการรบกวนหรือกีดขวางเส้นทางการไหลของของไหล ในอดีตการวัดการไหลก่อนที่จะมีการคิดค้น PIV จะกระทำโดยการใช้เครื่องมือวัด (Probe) ที่เป็นแผง (Array) ยื่นเข้าไปวัดในบริเวณที่ต้องการ เช่น การยื่นเข้าไปในท่อทาง หรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ของไหลไหลผ่าน หรือการใช้เครื่องมือวัดชิ้นเดียวทำการวัดซ้ำ ๆ กันหลายครั้ง ในบริเวณที่ต่างกันเพื่อที่จะให้ได้ข้อมูลทั่วทั้งบริเวณที่ต้องการ ซึ่งทั้งสองวิธีนี้ เครื่องมือวัดจะเข้าไปกีดขวางเส้นทางของของไหลทำให้ผลที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อน โดยเฉพาะวิธีหลังนั้น ลักษณะของการไหลอาจเปลี่ยนไปจากเดิมในขณะที่ทำการวัดที่ตำแหน่งอื่น ๆ ดังนั้นการวัดการไหลโดยวิธีการใช้เครื่องมือยื่นเข้าไปกีดขวางเส้นทางการไหลของของไหลนั้นเป็นวิธีที่ค่อนข้างเสียเวลาและไม่ค่อยมีประสิทธิภาพเท่าที่ควรในการวัดการไหลที่ซับซ้อน

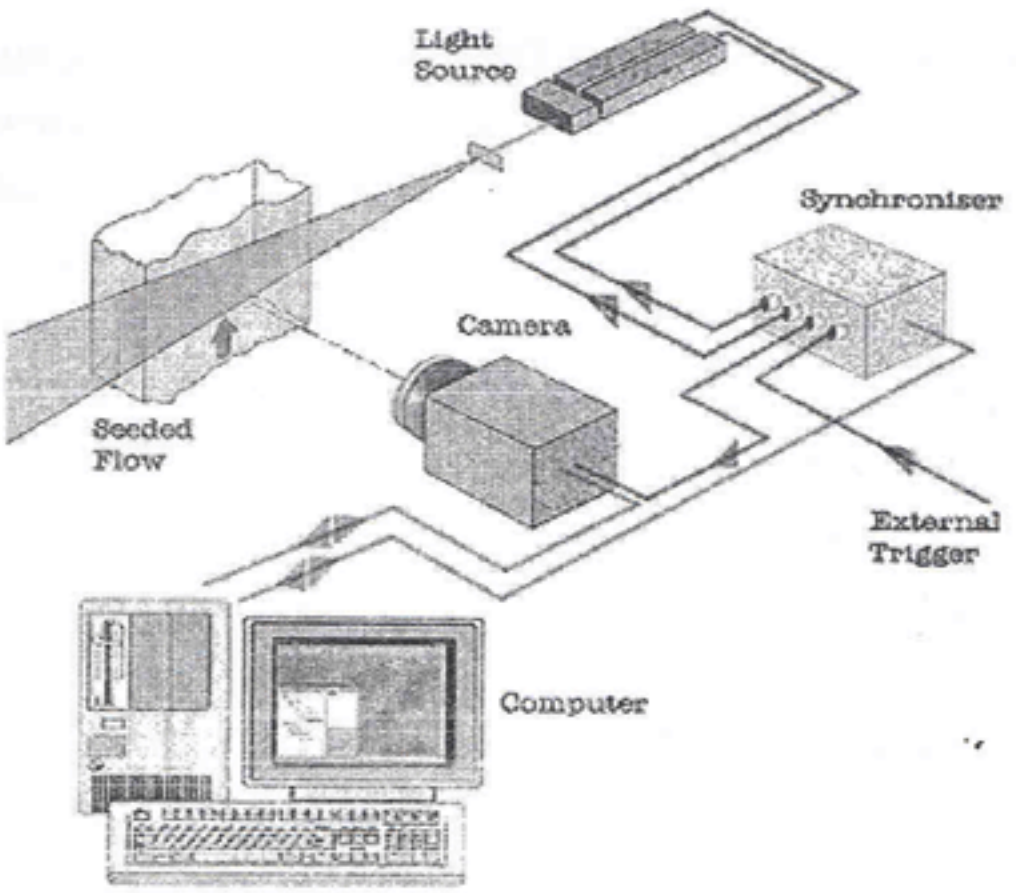
PIV เป็นเทคนิคในการวัดที่สามารถวัดการไหลในขณะใดขณะหนึ่งได้ โดยไม่มีการรบกวนการไหลของของไหล และสามารถวัดการไหลได้ทั่วทั้งพื้นที่ที่ต้องการวัดจากการวัดเพียงครั้งเดียว (การวัดที่ถือได้ว่าเป็นการวัดที่ขณะใดขณะหนึ่ง คือ การวัดที่ใช้เวลาในการวัดน้อยมาก (๑/๑๐๐) เมื่อเทียบกับเวลาที่ของไหลเปลี่ยนแปลงการไหลอย่างเด่นชัด) วิธีการที่ใช้สำหรับ PIV จะประกอบด้วย การทำให้เห็นภาพการไหล (Flow visualization) และการวัดอัตราเร็วของของไหลขณะใดขณะหนึ่งเป็นจำนวนมากในบริเวณที่กว้าง ซึ่งเป็นเครื่องมือในการวัดการไหลที่ทันสมัยและมีประสิทธิภาพสูงสำหรับการศึกษาพลศาสตร์ของของไหลในปัจจุบัน

หลักพื้นฐานของ PIV

ในของไหลที่จะทำการวัดจะถูกใส่อนุภาคเล็กๆที่เหมาะสมลงไปจำนวนหนึ่ง ซึ่งอนุภาคนี้จะต้องสามารถสะท้อนแสงได้ดีเมื่อถูกแผ่นลำแสง อนุภาคเหล่านี้จะต้องสามารถเคลื่อนที่ตามของไหลได้อย่างเที่ยงตรง หรือเรียกได้ว่าเป็นอนุภาคที่มีความถี่ในการตอบสนองสูง (High Frequency Response) เมื่อของไหลมีการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ เช่น เมื่อความเร็วของของไหลเพิ่มขึ้น อนุภาคก็จะต้องมีความเร็วเพิ่มขึ้นตามของไหลได้อย่างรวดเร็ว (ใช้เวลาอันสั้นที่จะปรับความเร็วให้ได้เท่ากับความเร็วของของไหล) ในขณะที่อนุภาคถูกแผ่นลำแสงก็จะสะท้อนแสงออกมาเป็นจุดเล็กๆซึ่งจะคล้ายกับดาวดวงเล็ก ๆ บนท้องฟ้าในคืนที่มืดสนิท เมื่อแสงถูกสะท้อนออกมา การเคลื่อนที่ของก๊าซ หรือของเหลวก็จะถูกตรวจจับโดยกล้องที่อยู่ทางด้านข้าง ซึ่งกล้องที่ใช้ในการจับภาพนี้อาจจะเป็นกล้องที่ใช้แผ่นฟิล์มความเร็วสูงหรือเป็นกล้องดิจิตอลที่มีความละเอียดสูงก็ได้ แผ่นลำแสงที่ฉายไปที่ของไหลจะถูกฉายเป็นจังหวะและกล้องก็จะถูกตั้งค่าไว้ให้จับภาพไว้ให้ได้ในขณะที่ลำแสงถูกฉายออกไป ๒ ครั้งติดต่อกันหรือมากกว่า ผลของการจับภาพจากแสงที่สะท้อนออกมาจากอนุภาคเล็ก ๆ ที่อยู่ในของไหลสองครั้งติดต่อกัน (Double-exposed Image) หรือมากกว่าสองครั้ง (Multi-exposed Image) จะแสดงถึงระยะกระจัด (ระยะทางที่อนุภาคเคลื่อนที่ได้) ของอนุภาคเล็ก ๆ ภายใต้พื้นที่ที่ทำการวัดในช่วงเวลาระหว่างลำแสงสองครั้ง ซึ่งก็จะถูกนำมาวิเคราะห์และปรับเปลี่ยนออกมาเป็นความเร็วของของไหลขณะนั้น ข้อมูลของความเร็วที่ได้จากวิธีการนี้จะมีแนวโน้มเป็นความเร็วขณะใดขณะหนึ่งก็ต่อเมื่อช่วงเวลาระหว่างการฉายลำแสงทั้งสองครั้งมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ตราบใดก็ตามถ้าช่วงระยะเวลาระหว่างการฉายลำแสงและช่วงเวลาการรับแสงของกล้องมีค่าน้อยกว่าช่วงเวลาที่น้อยที่สุดที่ของไหลจะเปลี่ยนแปลงการไหล ความเร็วที่คิดได้จากวิธีนี้ก็จะแสดงให้เห็นถึงความเร็วขณะใดขณะหนึ่งของของไหลที่เราทำการวัด

โดยทั่ว ๆ ไปภาพที่ได้จาก PIV จะถูกวิเคราะห์โดยการแบ่งเป็นพื้นที่เล็ก ๆ ขนาดของพื้นที่จะถูกเลือกให้มีจำนวนคู่ของอนุภาคเพียงพอต่อความต้องการในการวัดระยะกระจัดในพื้นที่นั้น (เพื่อใช้ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์) แต่พื้นที่นั้นจะต้องเล็กเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดความแตกต่างของความเร็วของอนุภาคแต่ละอนุภาค (< ๕%) ชุด Synchronizer และชุด Acquisition จะถูกนำมาใช้ร่วมกันเพื่อควบคุมเวลาในการปล่อยลำแสงและใช้ในการส่งสัญญาณไปยังกล้องให้จับภาพ และอุปกรณ์ทั้งหมดจะถูกควบคุมโดยชุดอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์หลักในการควบคุมและประมวลผลข้อมูลจากภาพที่ได้จากกล้อง





การใส่อนุภาคลงในระบบของของไหล

คุณสมบัติของอนุภาค

ในการใช้เทคนิค **PIV** สำหรับการวัดความเร็วของของไหลนั้นจะต้องมีการเติมอนุภาคเล็ก ๆ ลงในระบบของของไหลเพื่อที่จะทำการวัด ซึ่งนับว่าเป็นส่วนที่มีความสำคัญมากในการใช้เทคนิค PIV มีน้อยครั้งที่สามารถใช้เทคนิค PIV โดยไม่ต้องเติมอนุภาคลงไป การใช้เทคนิค PIV โดยไม่เติมอนุภาคลงไปนี้จะวัดได้โดยอาศัยสิ่งเจือปนที่อยู่ในของไหลเอง เช่น ฝุ่นละออง, ฟองอากาศเล็กๆ หรือละอองน้ำ

สิ่งที่จะต้องคำนึงในการเลือกอนุภาค (Particle)

๑. ประเภทของของไหลที่จะทำการวัด (น้ำ/อากาศ)
๒. ปริมาณของอนุภาคที่จะต้องเติมลงในระบบ
๓. ความเร็วของของไหล
๔. ความสามารถในการไหลไปกับของไหลของอนุภาค
๕. ความสามารถในการสะท้อนแสง
๖. ขนาดของอนุภาคในภาพที่ตรวจจับได้
๗. ความปลอดภัยในการใช้งาน เช่น ความสามารถในการติดไฟ, การย่อยสลาย เป็นต้น
๘. ราคา

ความสามารถในการไหลไปกับของไหล

ขนาดและความหนาแน่นของอนุภาคเมื่อพิจารณาร่วมกับความหนาแน่นและความหนืดของของไหล จะทำให้เราทราบถึงผลกระทบของแรงลอยตัวและความเฉื่อยของอนุภาคที่มีต่อของไหล การที่จะทำให้อนุภาคมีแรงลอยตัวเป็นศูนย์ (อนุภาคจะแขวนลอยอยู่ในของไหล) นั้นทำได้ยาก แต่อย่างไรก็ตามอนุภาคจะต้องกระจายตัวอยู่ในของไหลอย่างสม่ำเสมอในระหว่างการทดลอง

การเติมอนุภาคลงในของเหลวนั้นทำได้ง่ายกว่าในอากาศ เนื่องจากของเหลวมีความหนาแน่นมากกว่าและการไหลของของเหลวส่วนใหญ่จะมีความเร็วและความเร่งต่ำกว่าจึงทำให้สามารถเลือกใช้อนุภาคที่มีขนาดใหญ่และง่ายต่อการตรวจจับมากกว่า ในของเหลวขนาดของอนุภาคที่ใช้อาจมีขนาดเล็กจนถึงขนาดขนาดหลายสิบไมครอน (๑ ไมครอน = ๐.๐๐๑ มิลลิเมตร) แต่สำหรับในอากาศขนาดของอนุภาคที่จะใช้ได้อยู่ในระหว่างน้อยกว่า ๑ ไมครอนและ ๕ ไมครอน

การกระจายของแสงจากอนุภาค

แสงที่สะท้อนออกมาจากอนุภาคเป็นเพียงส่วนหนึ่งของแสงทั้งหมดที่ฉายไปยังของไหลและแสงที่สะท้อนจากอนุภาคก็จะมีเพียงบางส่วนที่ทำมุมหักเหให้กล้องสามารถรับแสงได้ ดังนั้นขนาดและชนิดของอนุภาคซึ่งมีความสามารถในการสะท้อนแสงแตกต่างกันจะมีผลต่อความคมชัดของอนุภาคที่ปรากฏบนภาพ ภาพของอนุภาคโดยเฉลี่ยแล้วจะต้องมีความชัดกว่าระดับของพื้นหลัง (Background) บนภาพ

วัสดุที่ใช้เป็นอนุภาค

การไหลของอากาศ (อุณหภูมิต่ำ) - ละอองจากการฉีดน้ำมันเป็นฝอย ๑ - ๕ ไมครอน

การไหลของอากาศ (อุณหภูมิสูง) - ไททาเนียมไดออกไซด์, เซอโคเนียมไดออกไซด์ ๐.๕ – ๕ ไมครอน

การไหลของอากาศและน้ำ - latex particles, ๐.๒๕ - ๕ ไมครอน

การไหลของน้ำ - Confier pollen , ๓๐ - ๕๐ ไมครอน

การทำให้อนุภาคสะท้อนแสง

ในการบันทึกภาพของอนุภาคจะต้องมีแหล่งกำเนิดพลังงานแสงที่เพียงพอในการฉายไปยังบริเวณระนาบที่จะทำการวัด และลำแสงที่ฉายไปนั้นจะต้องเป็นช่วงเวลาที่สั้นมาก ๆ เพื่อจะได้ไม่เกิดเป็นลายเส้นของอนุภาคบนภาพที่บันทึก โดยช่วงระยะเวลาที่ฉายลำแสงนั้นอนุภาคจะต้องไม่เคลื่อนที่ไปมากกว่าขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค

แหล่งกำเนิดแสงทั่ว ๆ ไปสามารถนำมาใช้ได้แต่จะมีข้อจำกัดเฉพาะในการไหลที่มีความเร็วต่ำ เนื่องจากความเข้มของแสงต่ำ ดังนั้นจึงจะต้องใช้เวลามากขึ้นเพื่อให้แสงสะท้อนออกมาจากอนุภาคเพียงพอ

ต่อการบันทึกภาพ ด้วยเหตุผลนี้เองระบบ PIV ส่วนใหญ่จึงจำเป็นต้องใช้แหล่งกำเนิดแสงที่เป็นอุปกรณ์เลเซอร์ เพราะว่าเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีความเข้มสูง และสามารถทำให้เป็นแผ่นลำแสงที่มีความหนาในระดับไมครอนได้ง่าย และสะดวกโดยการใช้เลนส์ชนิดทรงกระบอก (Cylindrical Lens) ในการเปลี่ยนลำแสงเลเซอร์ (Laser beam) เป็นแผ่นลำแสง (Laser Sheet) เครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์สามารถใช้ได้ทั้งชนิดที่เป็นลำแสงต่อเนื่อง (Continuous wave Laser, CW) และชนิดที่ปล่อยลำแสงเป็นช่วง ๆ (Pulsed Lasers)

การควบคุมการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์

ในระบบ PIV มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบระยะเวลาที่แน่นอนในการบันทึกภาพและการปล่อยลำแสง ดังนั้นจะต้องมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมเวลาในการทำงานของอุปกรณ์อื่น ๆ เพื่อให้สามารถทำงานได้สอดคล้องกันในช่วงเวลาที่เหมาะสม เช่น การบันทึกภาพและการถ่ายโอนข้อมูลของภาพจากกล้องมายังคอมพิวเตอร์จะต้องกระทำในจังหวะที่ลำแสงได้ผ่านไปยังบริเวณพื้นที่ที่ทดลอง มิเช่นนั้นกล้องจะไม่สามารถบันทึกแสงที่ออกมาจากอนุภาคได้ทัน อุปกรณ์ทุกชิ้นอาจจะไม่ทำงานพร้อมกันแต่จะมีระยะเวลาในการทำงานที่ต่างกันคงที่ ดังนั้นในบางครั้งก็จะต้องมีเครื่องหน่วงสัญญาณเพื่อทำให้สัญญาณที่จะต้องใช้ในการกระตุ้นให้อุปกรณ์บางชนิดทำงานถูกหน่วงไว้และจะส่งสัญญาณไปหลังจากที่อุปกรณ์อื่นได้ทำงานไปแล้ว เช่น ในการปล่อยลำแสงเลเซอร์ออกไปต้องมีสัญญาณไปกระตุ้นให้เครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์ปล่อยลำแสงออกมา แต่หลังจากถูกกระตุ้นแล้วเครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์ไม่สามารถปล่อยลำแสงได้ทันทีทันใดและความเข้มของแสงสูงสุด ไม่ได้เกิดขึ้นหลังจากที่ลำแสงถูกปล่อยออกไปทันที ดังนั้นจะมีช่วงระยะเวลาหนึ่งที่จะต้องรอ (เป็นเวลาที่สั้นมากในระดับไมโครวินาทีหรือมิลลิวินาที) ก่อนจะส่งสัญญาณอีกสัญญาณหนึ่งไปที่อุปกรณ์บันทึกภาพ โดยจะต้องบันทึกภาพในจังหวะเดียวกับที่เลเซอร์มีความเข้มสูงสุด

อุปกรณ์ที่ใช้ในการหน่วงสัญญาณนี้ก็คือ Digital หรือ Pulse Delay Generator โดยจะใช้ควบคู่กับเครื่องควบคุมเวลาในการทำงาน (Synchronizer)

กล้องบันทึกภาพ

ในการเลือกใช้กล้องบันทึกภาพนั้นเป็นสิ่งสำคัญในระบบ PIV เนื่องจากการวัดความเร็วของการไหลนั้นจะอาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพที่บันทึกไว้ เลนส์ที่ใช้จะต้องไม่ทำให้เกิดการกระจายของแสงที่ออกมาจากอนุภาคเพื่อที่จะให้ภาพของอนุภาคเล็กที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งจะให้มีความเที่ยงตรงในการวัด รูปทรงและกลไกควบคุมสำหรับบันทึกภาพของกล้องก็มีส่วนสำคัญมาก ระยะเวลาในการทำงานของกล้องหลังจากที่ส่งสัญญาณให้บันทึกภาพจนถึงเวลาที่หน้ากล้องเปิดรับแสงก็จะต้องทราบเวลาที่แน่นอนและสามารถวัดได้ จำนวนครั้งที่หน้ากล้องเปิดรับแสงนั้นก็จะต้องสามารถควบคุมได้ ซึ่งคุณสมบัติและข้อจำกัดต่าง ๆ เหล่านี้สามารถแก้ไขหรือหลีกเลี่ยงได้ด้วยการใช้กล้องดิจิตอล อุปกรณ์

รับแสงไม่ว่าจะเป็นแผ่นฟิล์มหรือเซลล์รับแสงจะต้องมีความไวต่อความยาวคลื่นของแสงที่สะท้อนออกมา เพื่อให้เกิดความคมชัดของภาพที่บันทึกได้ และในปัจจุบันนี้ส่วนใหญ่ระบบ PIV จะใช้ กล้องดิจิตอลที่มีเซลล์รับแสงชนิด CCD แทนการใช้ฟิล์มถ่ายรูปเนื่องจากมีข้อได้เปรียบหลายอย่าง นอกจากนั้นความละเอียดของภาพและอัตราเร็วในการบันทึกภาพของกล้องก็มีความสำคัญไม่น้อย ของไหลที่มีความเร็วสูงก็จะต้องใช้กล้องที่มีอัตราเร็วในการบันทึกที่สูงด้วย (Frame rate) การใช้กล้องดิจิตอลมีข้อได้เปรียบอีกประการหนึ่งก็คือ ผู้ใช้สามารถส่งถ่ายข้อมูลที่บันทึกไว้ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ทันที ซึ่งทำให้ทราบข้อมูลและสามารถปรับเปลี่ยนหรือแก้ไขการทดลองได้อย่างรวดเร็ว

ซอฟต์แวร์สำหรับควบคุมและประเมินผล

หัวใจสำคัญของการวิเคราะห์และประเมินผลของซอฟต์แวร์ก็คือการหาระยะทางที่อนุภาคเคลื่อนที่ไปได้ในช่วงระยะเวลาที่ทราบแน่นอน ภาพที่บันทึกได้จะถูกแบ่งออกเป็นพื้นที่เล็ก ๆ จำนวนมาก และในแต่ละพื้นที่จะให้ข้อมูลของระยะทางที่อนุภาคเคลื่อนที่ได้เมื่อซอฟต์แวร์ได้ประมวลผลข้อมูล

วิธีการที่ใช้ในการประมวลผลจากภาพที่บันทึกได้นั้นจะมีสองวิธี ก็คือ การติดตามอนุภาค และการประมวลผลโดยวิธี Correlation ทั้งสองวิธีต่างมีข้อได้เปรียบซึ่งกันและกันและสามารถใช้ร่วมกันได้ แต่วิธี Correlation จะเป็นวิธีการที่ใช้ได้ผลดีมากกว่า

การประมวลผลโดยวิธี Correlation นั้นจะทำการวัดระยะทางเฉลี่ยของอนุภาคที่อยู่ในพื้นที่เล็ก ๆ ที่ถูกแบ่ง ซึ่งการประมวลผลโดยวิธี Correlation นี้ ก็จะแบ่งได้เป็นสองวิธีย่อย คือวิธี Auto-correlation และ Cross-correlation วิธีประมวลผลโดย Auto-correlation นั้นจะใช้ภาพของอนุภาคที่บันทึกไว้เพียงภาพเดียว แต่เป็นภาพที่ลำแสงถูกปล่อยออกมาสองครั้ง หรือมากกว่า ติดต่อกันในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ โดยหนึ่งอนุภาคจะปรากฏเป็นสองจุดหรือมากกว่า (ถ้าหากปล่อยลำแสงมากกว่าสองครั้ง) บนภาพที่บันทึก เมื่อนำมาประมวลผลโดยวิธี Auto-correlation จะได้ระยะทางที่อนุภาคเคลื่อนที่ได้ในช่วงเวลาที่ทราบแน่นอน นั่นก็คือทำให้เราทราบความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาค แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดคือ เราไม่ทราบว่าจุดใดเป็นจุดที่เกิดขึ้นจากลำแสงครั้งแรก และจุดใดเป็นจุดที่เกิดขึ้นจากลำแสงครั้งที่สอง ดังนั้นเราจะไม่สามารถทราบทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคว่ามีทิศทางใดในระหว่างทิศทางที่ได้หรือทิศทางตรงกันข้าม (๑๘๐°) วิธีที่สองซึ่งเป็นวิธี Cross-Correlation นั้นจะต้องประมวลผลมาจากภาพที่บันทึกไว้สองภาพ โดยแต่ละภาพนั้นจะมีการปล่อยลำแสงออกมาเพียงครั้งเดียว (1 Pulse/Frame) และเนื่องจากเราทราบว่าภาพใดเป็นภาพแรก ภาพใดเป็นภาพหลัง จึงไม่เกิดความสับสนในเรื่องของทิศทางการเคลื่อนที่ นอกจากนั้นยังไม่มีข้อจำกัดในการวัดความเร็วในย่านที่มีความเร็วเป็นศูนย์

อย่างไรก็ตามถึงแม้จะมีการใช้ภาพที่มีความคมชัดและมีความละเอียดสูง ก็ยังมีข้อจำกัดในการประมวลผลโดยวิธีติดตามอนุภาค (Particle tracking) และโดยวิธี Correlation ซึ่งจะทำให้ผลที่ได้มีความคลาดเคลื่อนได้นั่นก็คือจำนวนคู่ของอนุภาคไม่เพียงพอในพื้นที่เล็ก ๆ ที่ทำการประมวลผลอนุภาค

ที่เคลื่อนที่หลุดออกนอกพื้นที่ในขณะที่ปล่อยลำแสงครั้งที่สอง และการเปลี่ยนแปลงความเร็วที่ค่อนข้างสูงมากของของไหลและอื่น ๆ ดังนั้นโดยทั่วไปแล้วเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องนำข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลมาทำการประมวลผลซ้ำอีกเพื่อลดข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการทดลอง และวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยต่าง ๆ จากข้อมูลหรือตำแหน่งข้างเคียงเพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ประโยชน์ที่ได้รับจาก PIV

ปัจจุบันได้นำเทคนิค PIV ไปใช้อย่างแพร่หลายเพื่อศึกษาการไหลของขฮงไหลในกระบวนการทางวิศวกรรมต่าง ๆ เช่น การไหลของอากาศในเครื่องอัดอากาศของเครื่องกังหันก๊าซ, การไหลของอากาศขณะเข้าสู่ลูกสูบและขณะเผาไหม้ในลูกสูบของเครื่องยนต์, การกระจายของน้ำมันเชื้อเพลิงในขณะที่ถูกฉีดออกมาจากหัวฉีด, การไหลของของไหลในเครื่องสูบชนิดต่าง ๆ, การไหลของอากาศผ่านรถยนต์หรือปีกเครื่องบิน นอกจากนั้นในทางการแพทย์ก็ยังได้นำเทคนิค PIV ไปใช้เช่น นำไปใช้ในการศึกษาการไหลของโลหิตและเม็ดเลือดแดงผ่านลิ้นหัวใจเทียม เพื่อนำข้อมูลการไหลไปใช้ในการออกแบบลิ้นหัวใจเทียม เนื่องจากพบว่าเม็ดเลือดแดงจะเกิดการกระแทกกับลิ้นหัวใจเทียมแล้วเกิดความเสียหายได้ ทั้งนี้ไม่ว่าจะนำเทคนิค PIV ไปใช้ศึกษาเรื่องใดก็ตาม ข้อมูลที่ได้จะทำให้เรามองเห็นภาพการไหลและมีความเข้าใจการไหลของของไหลได้ดีขึ้น ซึ่งมีประโยชน์ในการออกแบบอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกันการไหลให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ในอนาคตข้างหน้าอาจจะได้เห็นการนำเทคนิค PIV ไปพัฒนาใช้ในการศึกษาการไหลของน้ำผ่านตัวเรือ ใบจักรหรือหางเสือเรือซึ่งเกี่ยวข้องกับเราโดยตรง

อย่างไรก็ตาม เทคนิคการวัดความเร็วของของไหลโดยวิธี PIV นั้น มีข้อเสียเปรียบกว่าเทคนิคการวัดแบบอื่นอยู่คือ จะต้องใช้เครื่องมืออุปกรณ์ที่มีราคาสูง ดังนั้น สำหรับการวัดความเร็วของของไหลในบางกรณีอาจจะไม่จำเป็นต้องใช้เทคนิคนี้ ในปัจจุบันนี้การวัดความเร็วของของไหลบางครั้งยังสามารถใช้วิธีการแบบเดิมอยู่โดยให้ข้อมูลที่มีความเที่ยงตรงได้ระดับหนึ่ง เช่น การใช้ Pitot Tube, Hot-wire และ Hot-Film Anemometers, Drag-Force Velocity Transducers, Turbine Flowmeter, Vortex Shadding Transducers, Venturi Meter หรือแม้กระทั่งวิธี Laser Doppler Anemometer (LDA) ที่เป็นอุปกรณ์ที่มีราคาถูกกว่า PIV แต่ให้ความเที่ยงตรงสูง เช่นเดียวกัน ส่วนการจะเลือกใช้การวัดโดยวิธีใดนั้น ก็ขึ้นอยู่กับลักษณะของงานที่ต้องการวัด ซึ่งการวัดแต่ละแบบก็เหมาะสมกับงานบางชนิดเท่านั้น