

**Design and Testing of the Front-End Electronics of WCDA in LHAASO**  
**การออกแบบและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ส่วนหน้าของเครื่องวัด WCDA ของโครงการ LHAASO**  
(F. Aharonian et al. 2021, IEEE Transactions on Nuclear Science, 68, 8)

เครื่องวัดรังสีเชเรนคอฟแบบน้ำ (Water Cherenkov Detector Array หรือ WCDA) เป็นอุปกรณ์สำคัญชิ้นหนึ่งของโครงการหอสังเกตการณ์รังสีคอสมิกที่ระดับสูง (Large High Altitude Air Shower Observatory หรือ LHAASO) ซึ่งถูกสร้างจนเสร็จสิ้นในช่วงปลายปี 2020 WCDA ครอบคลุมพื้นที่ 78,000 ตารางเมตรและมีหลอดทวิคูณแสงขนาดใหญ่จำนวน 3120 หลอด โดยแบ่งเป็น 3 สระ สระที่หนึ่งใช้หลอดทวิคูณแสงขนาด 8 นิ้ว ในขณะที่สระที่สองและสามใช้หลอดทวิคูณแสงขนาด 20 นิ้ว อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ส่วนหน้า (Front-end electronics หรือ FEE) ถูกออกแบบให้ทำการวัดแบบมีกำลังขยายหลายระดับเพื่อให้มีความแม่นยำสูงทั้งในการวัดเวลาและประจุ และมีช่วงค่าที่วัดได้กว้าง สามารถวัดได้ตั้งแต่สัญญาณจากโฟตอนอิเล็กตรอนเดี่ยว (S.P.E.) ไปจนถึง 4,000 P.E. (สำหรับสระที่หนึ่ง) และถึง 1,800 P.E. (สำหรับสระที่สองและสาม) เราใช้เทคนิคไวท์แรบบิทที่ถูกเสริมสมรรถนะ (enhanced White Rabbit technique) เพื่อให้ได้การกระจายตัวของสัญญาณนาฬิกาและการจัดเรียงเฟสที่มีคุณภาพสูง รวมไปถึงการส่งข้อมูล สัญญาณนาฬิกา และคำสั่งควบคุมผ่านไฟเบอร์เดี่ยวเป็นระยะทางไกล บทความนี้นำเสนอผลการทดสอบ FEE ทั้ง 350 ชุดสำหรับ WCDA ผลการทดสอบระบุว่าความแม่นยำประจุนั้นมีความแม่นยำมากกว่า 20% สำหรับ S.P.E. และ 1% สำหรับ 1800 หรือ 4000 P.E. การวัดเวลามีความแม่นยำมากกว่า 300 ps (ค่าเฉลี่ยกำลังสอง) ซึ่งเป็นระดับที่ดีเพียงพอสำหรับการใช้งาน เครื่องมือ FEE ทั้งหมดถูกผลิตและติดตั้งสำหรับ LHAASO WCDA ในช่วงปี 2018 ถึง 2020 และข้อมูลจากระยะทดสอบการใช้งานระบุว่า FEE ทำงานได้เป็นอย่างดี