SEISMIC OBSERVATION OF THE FIREBALL OR THE METEORS - ตรวจวัดอุกกาบาตหรือลูกไฟด้วยคลื่นไหวสะเทือน

ปฏิญญา พรโสภิณ กองเฝ้าระวังแผ่นดินไหว PATINYA@METNET.TMD.GO.TH

เหตุการณ์ลูกไฟ (fireball) เมื่อวันที่ 7 กันยายน 2558 เวลาประมาณ 08.30 น. ซึ่งสังเกตุเห็นได้ในจังหวัดกาญจนบุรี กรุงเทพ ฯ และอีกหลายจังหวัด โดยที่ในพื้นที่บริเวณ อ.ไทรโยค จ.กาญจบุรี ได้ยินเสียงดังคล้ายระเบิดติดต่อกันหลายครั้ง

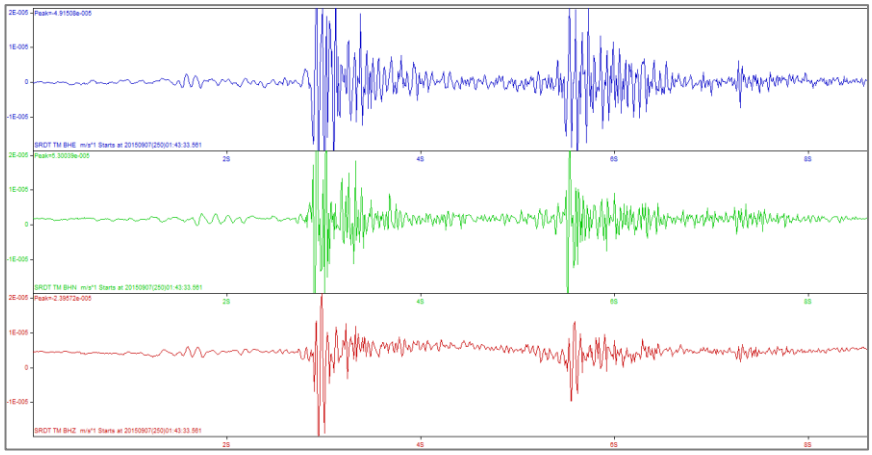
อุกกาบาต (meteorite) คือ วัตถุในอวกาศที่ผ่านชั้นบรรยากาศลงมาสู่โลก ตอนอยู่ในอวกาศจะเรียกว่า สะเก็ดดาวตก (meteoroid) พอเข้าสู่ชั้นบรรยากาศโลก จะเรียกว่าดาวตก (falling star) โดยดาวตกที่สว่างมาก ๆ คือสว่างกว่าดาวศุกร์ก็จะเรียกว่าลูกไฟ (fireball) ซึ่งการระเบิดของลูกไฟจะเกิดแสงสว่างโชติช่วงในท้องฟ้าและจะมีคลื่นเสียง sonic boom ตามมา

รูปที่ 1 ลูกไฟที่สังเกตุเห็นได้เมื่อวันที่ 7 กันยายน 2558 http://www.dailynews.co.th/regional/346377

โดยจากรายงาน Fireball and Bolide reports ของ NASA (National Aeronautics and Space Administration) ระบุว่าลูกไฟนี้มีความสว่างสูงสุดในเวลา 2015-09-07 01:41:19 UTC ในบริเวณตำแหน่ง 14.5N, 98.9E ที่ความสูงจากพื้นดิน 29.3 กม. หรือบริเวณ ต.ไทรโยค อ.ไทรโยค จ.กาญจนบุรี โดยมีความเร็วในแต่ละแกนเป็น vx=16.8, vy=-12, vz=-3.8 km/s ซึ่งสามารถคำนวนหาความเร็วของลูกไฟในแนวระนาบได้ 17.2 km/s และมีมุม azimuth = 257.25 องศา หรือมีทิศทางการเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ค่อนไปทางทิศตะวันตก และหรือมีทิศทางทำมุมกับแนวตะวันตก-ตะวันออก 12.75 องศา (รูปที่ 2)

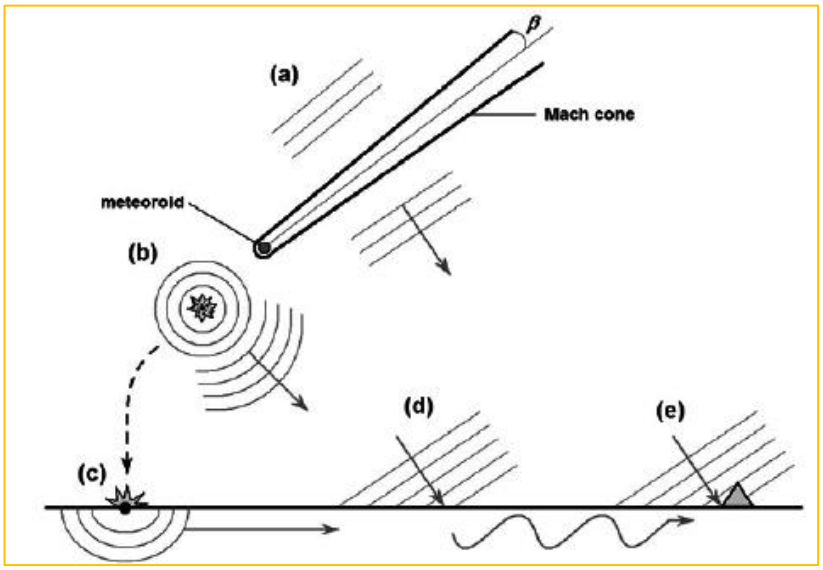
รูปที่ 2 แสดงตำแหน่ง, ความสูง, ความเร็วและทิศทางของลูกไฟ

จากเหตุการณ์ดังกล่าวนี้ สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวของสำนักเฝ้าระวังแผ่นดินไหว ที่ตั้งอยู่บริเวณเขื่อนศรีนครินทร์ จ.กาญจนบุรี (SRDT) สามารถตรวจวัดคลื่นไหวสะเทือนที่เกิดจากลูกไฟนี้ได้ในช่วงเวลา 2015-09-07 01:43UTC ดังรูที่ 3 ซึ่งมีลักษณะคล้ายรูปคลื่นที่เกิดจากแผ่นดินไหว ซึ่งคลื่นไหวสะเทือนที่ตรวจวัดได้นี้มีลักษณะเฉพาะตัวที่สามารถวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้



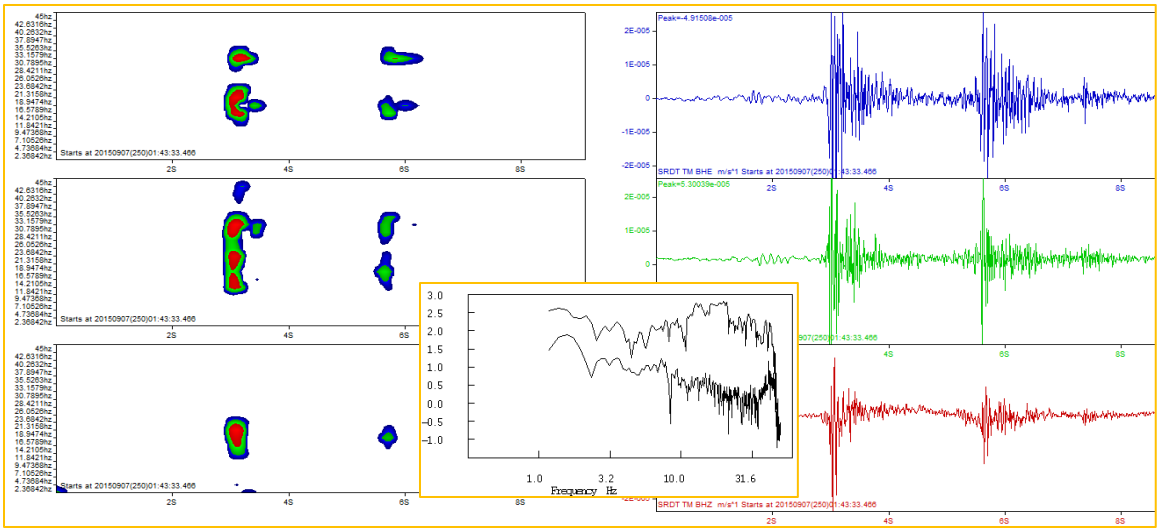
รูปที่ 3 คลื่นไหวสะเทือนที่สามารถตรวจวัดได้จากสถานีตรวจแผ่นดินไหวเขื่อนศรีนครินทร์ (SRDT)

คลื่นที่ตรวจวัดได้เกิดขึ้นจากเมื่ออุกกาบาตผ่านเข้ามาในชั้นบรรยากาศของโลกที่ความเร็วมากกว่าเสียงมาก (hypersonic velocity) จึงเกิดคลื่นกระแทก (shock wave) ขึ้นโดยมีความเร็วคลื่นอยู่ในช่วงประมาณ 280 ถึง 340 m/s จากความสูง 100 กม. จนถึงพื้นดิน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศเพราะเป็นคลื่นเสียง (รูปที่ 4a), จากนั้นเมื่ออุกกาบาตนั้นเกิดการระเบิดก็จะเกิดคลื่นกระแทกอีกครั้งซึ่งจะมีลักษณะเหมือน point source คือคลื่นเคลื่อนที่ออกไปทุกทิศทาง (รูป 4b), และเมื่อชิ้นส่วนของอุกกาบาตตกกระทบพื้นโลกก็จะทำให้เกิดคลื่นแผ่นดินไหวหรือคลื่นไหวสะเทือน (seismic wave) (รูป 4c). โดยคลื่นที่จะสามารถตรวจวัดได้ที่สถานีตรวจวัดคลื่นแผ่นดินไหว (seismic station) นั้นประกอบไปด้วยคลื่นแผ่นดินไหวที่เกิดจากชิ้นส่วนของอุกกาบาตตกกระทบพื้นโลก (รูป 4c), คลื่นแผ่นดินไหวที่เกิดจากคลื่นกระแทกกระทำกับพื้นโลกแล้วเกิดเป็นคลื่นแผ่นดินไหวเคลื่อนที่มายังสถานีตรวจ (รูป 4d) และคลื่นที่ตรวจวัดได้โดยตรงจากคลื่นกระแทกจากอากาศ (รูป 4e)



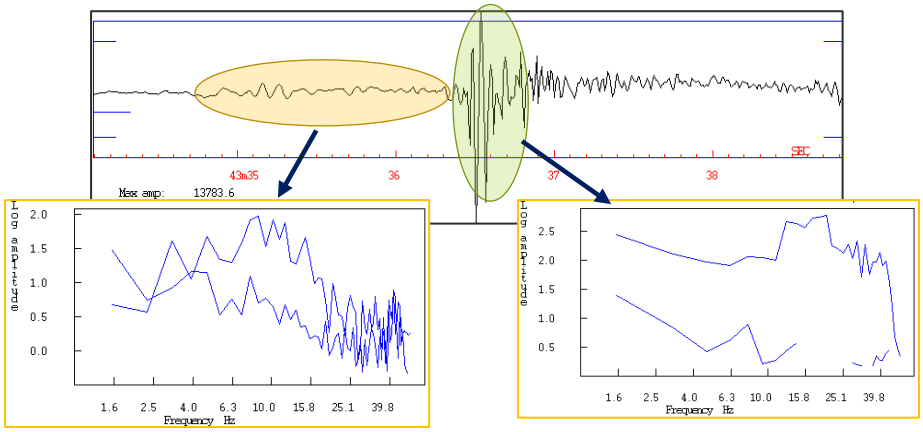
รูปที่ 4 แผนภาพแสดงการตกของอุกกาบาตแล้วทำให้เกิดคลื่นแบบต่าง ๆ ที่สามารถตรวจวัดได้ด้วยสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหว (Wayne N. Edwards, 2008)

จากคลื่นที่ตรวจวัดได้เมื่อนำมาวิเคราะห์ในเชิงความถี่หรือวิเคราะห์ spectrogram ของคลื่นแล้วจะพบว่าคลื่นที่วัดได้มีความถี่อยู่ในช่วง 14 ถึง 35 Hz ซึ่งเป็นความถี่เสียงที่มนุษย์สามารถได้ยินได้ (20 – 20,000 Hz) ดังนั้นจึงมีรายงานว่าบริเวณ อ.ไทรโยค จ.กาญจบุรี ได้ยินเสียงดังคล้ายระเบิดติดต่อกันหลายครั้ง



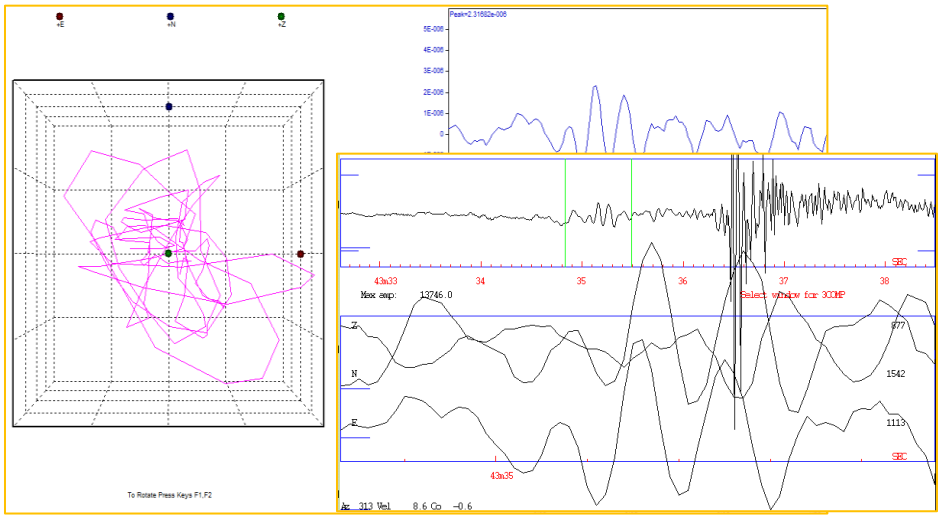
รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์เชิงความถี่และ spectrogram ของคลื่นที่ตรวจวัดได้ที่สถานีเขื่อนศรีนครินทร์ (SRDT)

ช่วงแรกของคลื่นที่มีลักษณะคล้ายคลื่น P นั้นจะมีความถี่ในช่วง 7-10 Hz ซึ่งสอดคล้องกับความถี่ของคลื่นไหวสะเทือนจากพื้นดิน ดังนั้นช่วงแรกของคลื่นที่ตรวจวัดได้ความยาวประมาณ 1 วินาทีนั้นเป็นคลื่นแผ่นดินไหวที่เกิดจากคลื่นกระแทกกระทำกับพื้นโลกแล้วเกิดเป็นคลื่นแผ่นดินไหวเคลื่อนที่มายังสถานีตรวจ ส่วนคลื่นที่มีลักษณะคล้ายคลื่น S จะมีความถี่สูงกว่า



รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์เชิงความถี่ของคลื่นในช่วงต่าง ๆ

จากคลื่นที่ตรวจวัดได้สามารถคำนวนหาตำแหน่งของลูกไฟในตำแหน่งที่มีการระเบิดหรือมีแสงสว่างโชติช่วงได้คร่าว ๆ จากความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับความถี่ของคลื่น, *Frequency* = 2.05 + 290exp(-*R*/31) (Elizabeth A. Silber and Peter G. Brown, 2014) ซึ่งเมื่อแทนค่าความถี่ของคลื่นที่ตรวจวัดได้โดยประมาณ 25 Hz ลงไปในสมการก็จะได้ระยะทางจากสถานีถึงตำแหน่งที่ลูกไฟระเบิดเป็น 80 กม. และเมื่อคำนวน 3-component particle motion (รูปที่ 7) ของคลื่นแล้วจะได้มุม azimuth = 313 องศา หรืออยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือของสถานีตรวจวัด ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลของ NASA



รูปที่ 7 คำนวน 3-component particle motion

Fireball and Bolide Reports. *Available from: http://neo.jpl.nasa.gov/fireballs/*

Wayne N. Edwards, David W. Eaton, and Peter G. Brown (2008), **SEISMIC OBSERVATIONS OF METEORS: COUPLING THEORY AND OBSERVATIONS**, *American Geophysical Union*.

Elizabeth A. Silber and Peter G. Brown (2014), **Optical Observations of Meteors Generating Infrasound – I: Acoustic Signal Identification and Phenomenology**, *Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*.