บทที่ 7
เส้นฐาน

1. ชนิดของเส้นฐาน

1.1 กล่าวโดยทั่วไป

การรังวัดเส้นฐานที่มีความละเอียดอาจจำเป็นในบางครั้ง เส้นฐานสำหรับงานสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 หรือชั้นที่ 2 ควรวัดอย่างละเอียดด้วยความเคลื่อนคลาดคาดคะเน (Probable error) ไม่โตกว่า 1 ใน 500,000 หรือตามความละเอียดที่ได้ระบุไว้ตามชนิดของงานโดยเฉพาะสำหรับงานชั้นที่ 1

1.2 เส้นฐานด้วยโซ่อินวาร์

วิธีการรังวัดเส้นฐานสำหรับเส้นฐานชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 ใช้ระเบียบวิธีการอย่างเดียวกัน และการระวังเอาใจใส่ต่อความเคลื่อนคลาดก็เป็นอย่างเดียวกันด้วย ความแตกต่างเพียงแต่ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เท่านั้น โซ่อินวาร์ (คำว่า**อินวาร์**มาจาก***ไม่แปรเปลี่ยน***) ทำด้วยส่วนผสมของทองขาวกับเหล็กกล้า แสดงลักษณะด้วยสัมประสิทธิ์การขยายตัวเท่ากับ 1 ใน 10 หรือเล็กกว่านั้นของสัมประสิทธิ์การขยายตัวของเหล็กกล้า การที่สัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำได้เปรียบอย่างมากเนื่องจากอุณหภูมิของโซ่ที่จะได้รับอย่างถูกต้องนั้นประสบปัญหายุ่งยาก หากต้องใช้โซ่เหล็กกล้าสำหรับงานชั้นนี้ การรังวัดควรกระทำถ้ามิใช่กลางคืนก็ทำเมื่อท้องฟ้ามืดจัด เวลาคลี่ หรือม้วนเข้าโกร่งไม่ควรเร่งรีบหรือใช้แรงดึงหนักมาก หรือหมุนเข้าโกร่งที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางสั้น หรือลากไปบนพื้นผิวดิน หรือกระตุกสั่นแกว่งอย่างรุนแรง หรือดึงด้วยแรงที่เกินเขต หรือจุดจำกัดที่ยอมให้ หรือไม่ควรให้โซ่อยู่ในอำนาจของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงมากอย่างกะทันหัน เมื่อคลาย

หรือคลี่ออกจากโกร่งด้านที่มีเครื่องหมายจะควรอยู่ข้างใน หรือข้างนอกแล้วแต่ว่าของเดิมนั้นจัดไว้ในรูปใด การทำให้โซ่ดุ้งหรือโก่งคดงออาจทำให้ไร้ประโยชน์ เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่มีความละเอียดพิเศษ ฉะนั้นไม่ว่าโซ่จะดุ้งหรือปล่อยขึงตึงไว้ ระยะที่วัดได้อย่างมีประสิทธิผลจะแตกต่างจากระยะที่ได้เทียบไว้ก่อน ความจริงโซ่อินวาร์ต้องการการดูแลรักษาอย่างดีจนกระทั่งไม่นำเอาไปใช้สำหรับงานวงรอบชั้นที่ 3 หรือใช้ในงานที่มีความมุ่งหมายเช่นนั้น

1.3 เส้นฐานด้วยโซ่ลานเหล็กกล้า

การวัดเส้นฐานด้วยโซ่ชนิดนี้ต้องใช้ความเคลื่อนคลาดคาดคะเนสูงกว่ามาก เนื่องจากอุปกรณ์พิเศษที่ใช้กับโซ่อินวาร์ไม่มี อย่างไรก็ดีเส้นฐานที่วัดด้วยโซ่ลานเหล็กกล้าเหล่านี้ตั้งใจเพียงใช้งานสามเหลี่ยมกริด

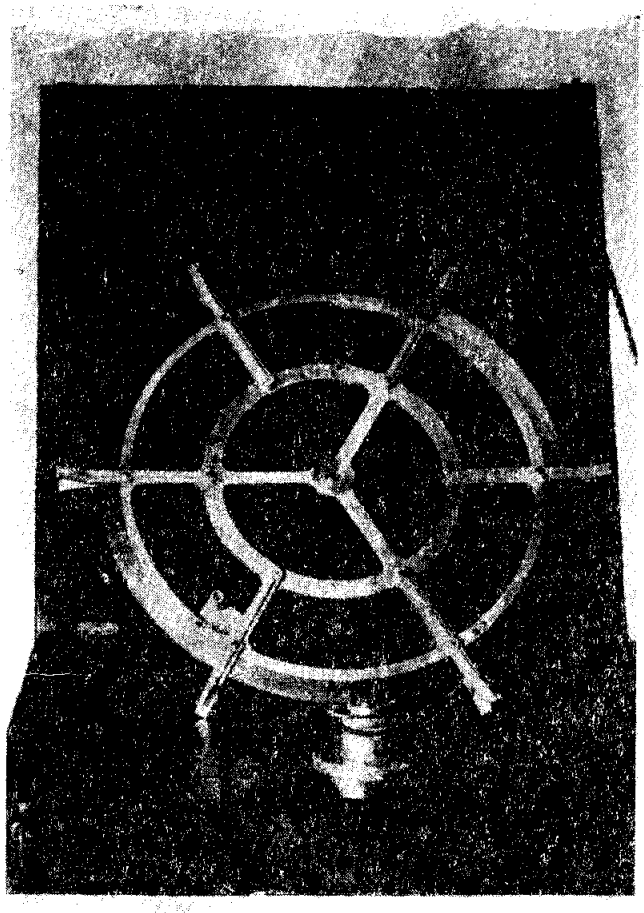
2.โซ่อินวาร์

ในพ.ศ.2449 กรมสำรวจแผนที่ และชายฝั่งสหรัฐได้ทดสอบใช้โซ่ชนิดนี้หลายชุด ซึ่งทำด้วยโลหะผสมเรียกว่า **อินวาร์** ดังกล่าวแล้ว โลหะผสมนี้ Dr.C.E. Guillaume ผู้อำนวยการสำนักงานเทียบน้ำหนัก และการวัดนานาชาติที่ Sevres, ใกล้กับปารีส ประเทศฝรั่งเศส ส่วนผสมของโลหะประกอบด้วยทองขาว 35 เปอร์เซ็นต์ และเหล็กกล้า 65 เปอร์เซ็นต์ และได้ให้ความร้อนเป็นพิเศษ ด้วยวิธีนี้จึงทำให้เป็นโลหะที่มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำมาก อุณหภูมิของโซ่ระหว่างทำการรังวัดไม่จำเป็นต้องกำหนดหามาอย่างใกล้เคียงเหมือนกับเมื่อใช้โซ่ลานเหล็กกล้าอินวาร์อ่อนกว่าเหล็กกล้า และโก่งตัวได้ง่ายมาก จึงต้องม้วนเข้าโกร่งที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 16 นิ้ว เพื่อป้องกันระยะเปลี่ยนแปลงอันเนื่องจากโก่ง และจะต้องใช้ หรือนำไปด้วยความระมัดระวังตลอดเวลา

อินวาร์พบว่าให้ผลละเอียดสำหรับเส้นฐานตามที่ต้องการแม้จะได้ใช้ภายใต้สภาพอุณหภูมิอันไม่น่าพอใจที่สุดก็ตาม อาจได้เปรียบที่ว่าเวลากลางวันก็อาจใช้ทำงานได้ และ

ยังไม่จำเป็นต้องสอบเทียบในสนามอย่างโซ่ลานเหล็กกล้าอีกด้วย แต่ในสหรัฐโซ่นี้อาจต้องนำไปเปรียบเทียบที่ Washington D.C. ตอนเริ่ม และสิ้นสุดฤดูทำงาน โซ่อินวาร์ได้พิสูจน์เป็นที่น่าพอใจยิ่งจนกระทั่งนำไปใช้วัดเส้นฐานเกือบเป็นพิเศษนับตั้งแต่ได้ลองใช้นับจากบัดนั้นมา

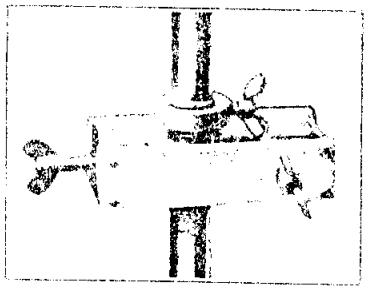
สัมประสิทธิ์การขยายตัวโซ่แต่ก่อนประมาณ 3^{-7} ถึง 4^{-7} ต่อองศาเซนติเกรด ภายหลังโซ่นี้ได้ผลิตขึ้นใช้จนสัมประสิทธิ์การขยายตัวเกือบเป็น 0 หรือจนเครื่องหมายเป็นลบ แต่น่าเสียดายที่โลหะในโซ่ชนิดนี้ปรากฏไม่**คงที่** และระยะมักจะเปลี่ยนแปลงยิ่งกว่าการเปลี่ยนแปลงในโซ่อย่างเก่า บัดนี้จึงพยายามผลิตโลหะผสมที่คงที่ซึ่งทั้งยังมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำมากด้วย



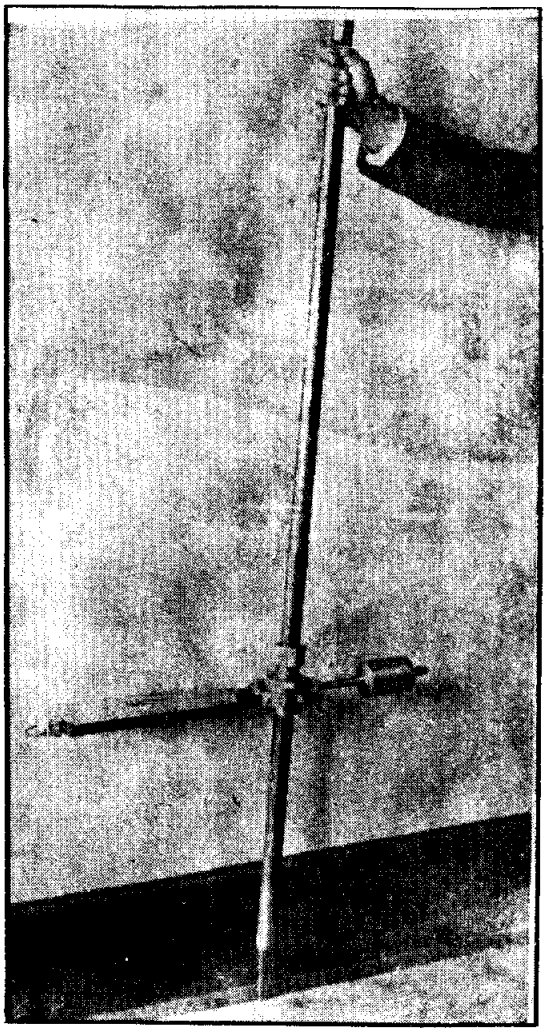
รูป 7.1 โซ่อินวาร์อยู่ในโกร่ง

3. รายละเอียดเครื่องมือ

โซ่อินวาร์ยาวประมาณ 53 เมตร พร้อมกับปลายโซ่มีขีดส่วนแบ่ง 50 เมตรจากกัน ขีดส่วนแบ่งระหว่าง เช่น 10 เมตร หรือที่จุด 25 เมตร เสริมเข้ามาถ้าต้องการ โซ่บางเส้นมีขีดส่วนแบ่งเป็นเดซิเมตร และที่ปลายโซ่แต่ละข้างแบ่งย่อยถึงมิลลิเมตร หน้าตัดโซ่มีขนาดประมาณ 6 x 0.5 มม. และน้ำหนักประมาณ 25 กรัมต่อเมตร ส่วนที่ใช้คานรองรับโซ่คือ ตรง 3 ตำแหน่ง, 5 ตำแหน่ง หรือตลอดความยาวทั้งหมดแล้วแต่สถานการณ์ เครื่องมือสำหรับยึด และตั้งอยู่ในตำแหน่งตรงหมายเลข 10 ในโซ่ดูได้จากรูปข้างบน แท่งเหล็กตั้งลงไปในดินให้แน่น และใช้น้ำหนักถ่วงอย่างสูงสุด มีวงเฟืองล้อสำหรับเปลี่ยนตำแหน่งได้อย่างรวดเร็ว และไขควงขันคลายเข้าออกช้า ๆ เพื่อปรับอย่างประณีต ให้ผู้ปฏิบัติสามารถตั้งหมายเลข 0 ตรงกับหมายขีดได้อย่างฉับพลัน และถูกต้อง การใช้เครื่องมือเช่นนี้จะช้ากว่าการตั้งโดยตรงถึง 3 เท่า แต่ทำให้ได้ความถูกต้องสูง กรมสำรวจแผนที่ และชายฝั่งสหรัฐ (US.C. & G.S.) ใช้แท่งเหล็กแบบธรรมดา ปลายแท่งเหล็กปักลงไปในดินแล้วตั้งหมายเลข 0 โดยตรงด้วยการเลื่อนโซ่จากแท่งเหล็ก ปรับอย่างประณีตช้า ๆ จากคนทาบโซ่หลัง เขาจะคอยถือโซ่เบี่ยงเบนเข้าแนวจนพอที่จะนำหมายเลข 0 เข้าสู่หมายขีด

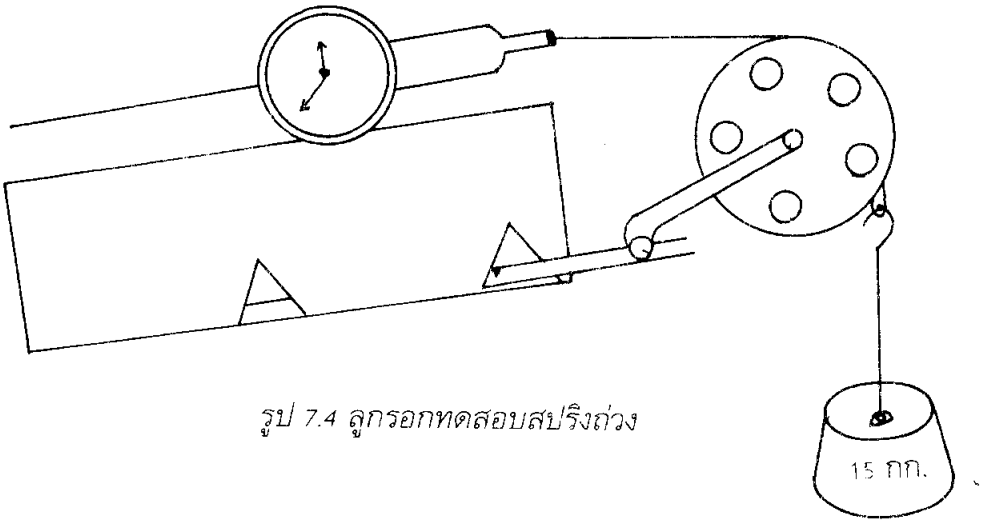


รูป 7.2 เครื่องมือสำหรับตั้งที่ 0 ของโซ่



รูป 7.3 เครื่องมือแรงดึง

การจัดโดยวิธนี้ทำให้เร็วยิ่งกว่าวิธีแรก และถ้าผู้ปฏิบัติได้รับการฝึกอย่างดีจะได้ความถูกต้องทั้งหมดตามต้องการ แรงดึงอาศัยสปริงถ่วงค่าที่อ่านได้เล็กที่สุด คือ 50 กรัม แรงดึงทำงานธรรมดาใช้ 15 กิโลกรัม เครื่องมือคล้ายกันกับรูปข้างบน ปักปลายแท่งเหล็กลงในพื้นดินและท่อนปลายตอนบนเคลื่อนไปทางขวา หรือซ้ายเพื่อนำโซ่เข้าสู่เหนือหลักรังวัด ตัวสปริงถ่วงสามารถเลื่อนขึ้น หรือเลื่อนลงได้ และขันให้แน่น ณ ตำแหน่งหนึ่งใดโดยอาศัยไขควงอีกชุดหนึ่ง การอ่านสปริงถ่วงสำหรับแรงดึงจริง ๆ 15 กิโลกรัมหาได้โดยอาศัยน้ำหนักถ่วงมาตรฐาน 15 กิโลกรัม และลูกรอกที่ปราศจากความฝืด การอ่านค่าแรงดึงขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ควรได้มีการทดสอบ ณ ตอนเริ่มงาน และสิ้นสุดงานในแต่ละวัน และเมื่อใดที่ปล่อยตุ้มถ่วงทันทีทันใดโดยบังเอิญ จะทำให้กลไกของสปริงถ่วงบิดไปด้วย เทอร์มอมิเตอร์ที่ใช้กับเครื่องมือชนิดนี้แบ่งขีดออกเป็นองศา หรือครึ่งองศา และได้จัดมือจับสปริง (Spring Clips) เพื่อยึดติดกับโซ่ วิธีที่ดีคือ ยึดเทอร์โมมิเตอร์ไว้กับโซ่ด้วยเทปการซึ่งจะป้องกันการเปลี่ยนตำแหน่งของเทอร์มอมิเตอร์ หรือกันการสูญหาย วางเทอร์มอมิเตอร์เข้าไปภายในปลายโซ่ที่ขีดส่วนแบ่ง 1 เมตร ตรงตำแหน่งเช่นเดียวกับเมื่อนำโซ่เข้าทดสอบในตัวเทียบ (Comparator) สิ่งสำคัญคือว่า เทอร์มอมิเตอร์ที่ใช้ปฏิบัติงานสนามควรมีน้ำหนักเช่นเดียวและอยู่ตำแหน่งเดียวกับเทอร์มอมิเตอร์ที่ใช้ตอนสอบเทียบ



รูป 7.4 ลูกรอกทดสอบสปริงถ่วง

4. การหมายจุดปลายเส้นฐาน

ปลายของเส้นฐานทำหมายหมุดไว้เช่นเดียวกันกับสถานีสามเหลี่ยม เส้นฐานสมัยใหม่ จุดปลายเส้นฐานหมายด้วยหัวทองเหลืองหล่อซึ่งฝังลงไปในคอนกรีต หรือในหิน เส้นฐานเก่า ๆ เขามักหมายด้วยแท่งทองเหลืองที่ฝังลงในรูที่เจาะ หรือสกัดลงไปในแท่นหิน จุดเหล่านี้โยงยึดกับหมายพยานโดยการรังวัดระยะอ้างอิงเพื่อช่วยในการค้นหาสถานีหากเกิดหาไม่พบหรือสูญหาย มักจะมีหมายหมุดอยู่ใต้พื้นผิว เพื่อช่วยในการค้นหาสถานีหากหมายหมุดพื้นผิวหายไป หรือถูกรบกวนจุดที่อยู่ระหว่างในเส้นฐานบางทีก็หมายไว้ในลักษณะเดียวกัน

5. การเตรียมการรังวัด

ก่อนทำการรังวัดอาจเริ่มด้วยการกรุยแนว และขจัดสิ่งกีดขวางทั้งหมดออกไปจากแนวอันนี้อาจเกี่ยวข้องกับการตัดต้นไม้, พุ่มไม้ หรือหญ้า และปรับระดับพื้นผิวดินที่ไม่ราบเรียบเล็ก ๆ น้อย ๆ นั้น ที่ใดมีทางน้ำผ่านแนว หรือสิ่งกีดขวางสูงซึ่งไม่สามารถจะยกระดับพ้นสิ่งกีดขวางนั้น อาจจำเป็นต้องสร้างเวทีการวัดให้แก่ผู้ส่องกล้อง ต่อไปตอกหลักที่รังวัดขนาด 4 × 4 นิ้ว ลงในแนวอย่างถูกต้อง และพอดีกับหนึ่งระยะท่อนโซ่แต่ละช่วง ตอนนี้ต้องทำอย่างถูกต้องเพียงพอจนกระทั่งขีดหมายปลายโซ่ตกอยู่ที่หัวหลัก โซ่อินวาร์แต่ก่อนไม่เหมาะสมสำหรับการรังวัดขั้นสุดท้ายนั้นอาจนำมาใช้ได้ประโยชน์ในงานเริ่มแรกอันนี้ หลักต้องตอกจนแน่น และถ้าจำเป็นก็ผูกตรึงทางข้างด้วยท่อนไม้ขนาด 1 × 4 นิ้ว ตอกลงไปในดินแล้วตีตะปูตรึงไว้กับหลักเหล่านั้น หลักต้องสูงพอจนกระทั่งโซ่จะไม่แตะพื้นดิน หรือพุ่มไม้ ณ ที่จุดใดเลย ขีดเส้นไว้ด้วยดินสอที่หัวหลัก ก่อนเริ่มรังวัดเอาแถบสังกะสี หรือทองแดงตรึงไว้บนหัวหลักเพื่อว่าขีดบนโซ่จะได้อยู่ตรงแนวเส้นจริง งานกรุยแนวทั้งหมดนี้อาจทำด้วยกล้องวัดมุมที่มีคุณภาพดีของวิศวกรแบบธรรมดา ลาดของระยะความยาวโซ่พร้อมด้วยกำหนดสูงแท้จริงของหลักแต่ละอันหาได้ด้วยการทำระดับโดยตรงบนหัวหลักเหล่านั้น กำหนดสูงสัมบูรณ์จำเป็นเพื่อการคำนวณทอนลงสู่พื้นระดับทะเล แต่อันนี้ไม่จำเป็นต้องทราบอย่างละเอียดนัก อย่างไรก็ดีความต่างในทางกำหนดสูงต้องได้รับอย่างถูกต้องมากเพื่อความมุ่ง

หมายเอาไปคำนวณจำนวนแก้ลาด โดยเฉพาะเมื่อลาดชัน เช่น ลาดใกล้ 10 เปอร์เซ็นต์ บางที ใช้คลิโนเมตร (คลินอมิเตอร์) เพื่อหาลาดเมื่อต้องการประหยัดเวลาเป็นสำคัญ ตั้งคลิโนเมตร ขึ้นไม่ว่าจะที่กึ่งกลางโซ่ หรือที่กึ่งกลางของวงบรรจบอันหนึ่ง หลักที่ใช้สำหรับพยุงโซ่ตรง กึ่งกลางอาจสร้างขึ้นก่อนเช่นเดียวกับหลักปลายโซ่ทั้งหลาย หรืออาจจัดเข้าแนวด้วยการเล็ง ด้วยนัยน์ตาทั้งแนว และลาดเมื่อกระทำการรังวัด หากลมพัดแรงอาจจำเป็นต้องค้ำพยุงโซ่ เพิ่มขึ้นสองที่ คือ ตรงหมาย 12.5 เมตร และที่ 37.5 เมตร เมื่อเส้นฐานอยู่บนเส้นทางหลวง หรือเมื่อใดที่ใช้หลักไม่ได้ สามขาเหล็กพร้อมด้วยโต๊ะรังวัดขนาดเล็กอยู่บนสามขาใช้ แทน หลักธรรมดา สามขาเหล่านี้มีข้อต่อลูกกลมกับเบ้าสองข้อเพื่อปรับความสูง และตำแหน่ง และเพื่อตั้งระดับหัวสามขา ถ้าทำการรังวัดไปตามเส้นทางรถไฟโซ่จะวางทาบลงไปบนส่วน บนของราง ในกรณีนี้ควรวางลูกกลิ้งขนาดเล็กรองรับโซ่เพื่อหลีกเลี่ยงความเคลื่อนคลาด อันเนื่องจาก**ความฝืด** ความผิดบนหัวหลักที่รังวัด คือ แหล่งความเคลื่อนคลาดอันมหาศาล

ภายใต้ภาวะเฉลี่ยแล้วการกรุยแนวก็อคณะสำรวจ 5 นาย สามารถเตรียมจัดไว้ให้ ทำการรังวัดได้จาก 3 ถึง 5 กิโลเมตร

6. การรังวัดเส้นฐาน

เส้นฐานอาจวัดได้อย่างสะดวกด้วยคณะสำรวจ 6 นาย คือ คนโซ่หน้า (Front contact man), คนโซ่หลัง (Rear contact man), คนดึงโซ่หน้า (Front stretcher man), คนดึงโซ่หลัง (Rear stretcher man), คนกลางโซ่ (Middle man) และคนจด (Recorder) การวัดจริง ๆ เริ่ม ด้วยการดึงโซ่ระหว่างจุดสุด และหลักวัดระยะอันแรก ปลาย 0 ของโซ่ทาบเหนือหมุดปลายของ เส้นฐานจะด้วยอาศัยลูกดิ่งหรือใช้กล้องตั้งฉากออกไปจากจุดสุดโซ่ต้องอยู่สูงพอที่จะอยู่ อย่างอิสระต่อสิ่งกีดขวางทั้งหมด ซึ่งอาจต้องการการตั้งสามขาเหนือหมุดปลายเส้นฐาน หรือสร้างโต๊ะวัดระยะขนาดเล็กขึ้น ความสูงของสามขาเหนือหมุดปลายเส้นฐานต้องวัดไว้ ที่ค้ำโซ่ตรงกลางอาจใช้สายตาเล็งเข้าแนวด้วยความละเอียดอย่างพอเพียงทั้งทางแนว ตั้ง และแนวนอน แผ่นกระดาษแข็งสีขาวรูปจัตุรัสด้วยมุมอันหนึ่งคานที่โซ่จะช่วยอำนวยความ สะดวกในการนำโซ่เข้าแนวในจุดกึ่งกลาง คนดึงโซ่หลังตั้งไม้เล็งของเขาลงในดิน และให้

ปลายไม้เล็งอยู่ทางหลังไหล่ของเขาแล้วปรับความสูง, เล็งแนว และลาดจนกระทั่งขีดหมาย 0 จะตกเหนือหมุดปลายเส้นฐาน คนดึงโซ่หน้าใช้น้ำหนักถ่วงทีละน้อยจนถึง 15 กิโลกรัม ต้องระวังไม่รบกวนต่อการเลี้ยงโซ่ด้วยการสะบัด หรือโดยการผ่อนน้ำหนักถ่วงเร็วเกินไป เมื่อขีด 0 อยู่ตรงที่ และน้ำหนักถ่วงถูกต้อง คนโซ่หน้าขีดหมายลงบนแถบทองแดงด้วยเหล็กหมาดปลายแหลม จุดที่อยู่ตรงข้ามกับขีดหมาย 50 เมตร ปลายสุดขีดส่วนแบ่งที่ใช้ในการเปรียบเทียบจะแสดงไว้ในประกาศนียบัตรปลายโซ่ข้างเดียวกันนี้ควรใช้ในการวัดระยะในสนามและแถบสังกะสี หรือทองแดงต้องวางบนหัวหลักตามนั้นด้วย โซ่ควรอยู่บนหัวหลักกับขอบโซ่สัมผัสกับแถบโลหะจนกระทั่งผิวส่วนบนอยู่ในระดับเดียวกัน โซ่ไม่ควรลากเลื่อนไปบนหัวหลักตามนั้นด้วย โซ่ควรอยู่บนหัวหลักกับขอบโซ่สัมผัสกับแถบโลหะจนกระทั่งผิวส่วนบนอยู่ในระดับเดียวกัน โซ่ไม่ควรลากเลื่อนไปบนหัวหลักแต่ควรอยู่เหนือหัวหลัก 1 มิลลิเมตร หรือประมาณนั้น จนกระทั่งคนสัมผัสต้องวางนิ้วลงบนโซ่เพื่อนำมันลงไปสัมผัสกับหลัก พอขีดที่จุด 50 เมตรหมายขีดลงแล้วจึงอ่านเทอร์มอมิเตอร์ และอุณหภูมิที่ปลายทั้งสอง แล้วจึงจดระยะลงในสมุดสนาม คนโซ่หน้าอ่านเทอร์มอมิเตอร์อันหน้า และคนโซ่หลังอ่านเทอร์มอมิเตอร์อันหลัง ถ้าการอ่านโซ่ และอุณหภูมิเป็นที่น่าพอใจ ถอดขอเกี่ยวออกจากสปริงถ่วงแล้วนำไปข้างหน้าด้วยคนโซ่หน้า คนกึ่งกลางโซ่ และคนดึงโซ่หลัง ควรถือสูงเหนือดินจนกระทั่งโซ่ไม่ถูไถลากไป และเกิดการดุ้ง บิดเบี้ยวขึ้น ต้องระวังไม่ทำให้เทอร์มอมิเตอร์เสียหาย เมื่อมาถึงที่หลักถัดไปคนดึงโซ่หน้าตรวจสอบให้เข้าแนวด้วยนัยน์ตา และตรวจลาดของหลักเพื่อดูว่าไม่มีหลักใดเคลื่อนที่ไปโดยบังเอิญ นำโซ่วางลงตามตำแหน่ง และปฏิบัติการเช่นเดียวกันเรื่อยไป คนโซ่หลังเอาใจใส่ต่อการตั้งแนว 0 บนขีดที่ทำไว้เรียบร้อยแล้ว ใช้เลนซ์ช่วยอ่านอย่างธรรมดาเพื่อความมุ่งหมายนี้ คนโซ่หน้าปกติอยู่ในตำแหน่งที่ดีที่สุดเพื่อตัดสินตกลงใจว่าเมื่อใดภาวะทั้งหมดจึงจะน่าพอใจสำหรับการอ่าน และปกติเขาจะปฏิบัติการเป็นแม่กองสนาม

ระยะสั้น ๆ เช่นที่ปลายเส้นฐาน เป็นต้น อาจวัดด้วยช่วงตอนของโซ่อินวาร์ หรือด้วยโซ่ลานเหล็กกล้าชนิดเมตริค กรณีการแบ่งย่านหลักอย่างชนิดย่าน 50 เมตร จะไม่ตกลงบนหัวหลัก อาจต้องใช้คำว่า "**เกิน**" หรือ "**ขาด**" บนหลักที่ตอกไว้ก่อน อันนี้ย่อมประกอบด้วยการวัดล้ำไปข้างหน้า (เกิน) หรือล้ำหลัง (ขาด) เพียงสองสามเซ็นติเมตร แล้วก็ขีดเส้นขึ้น

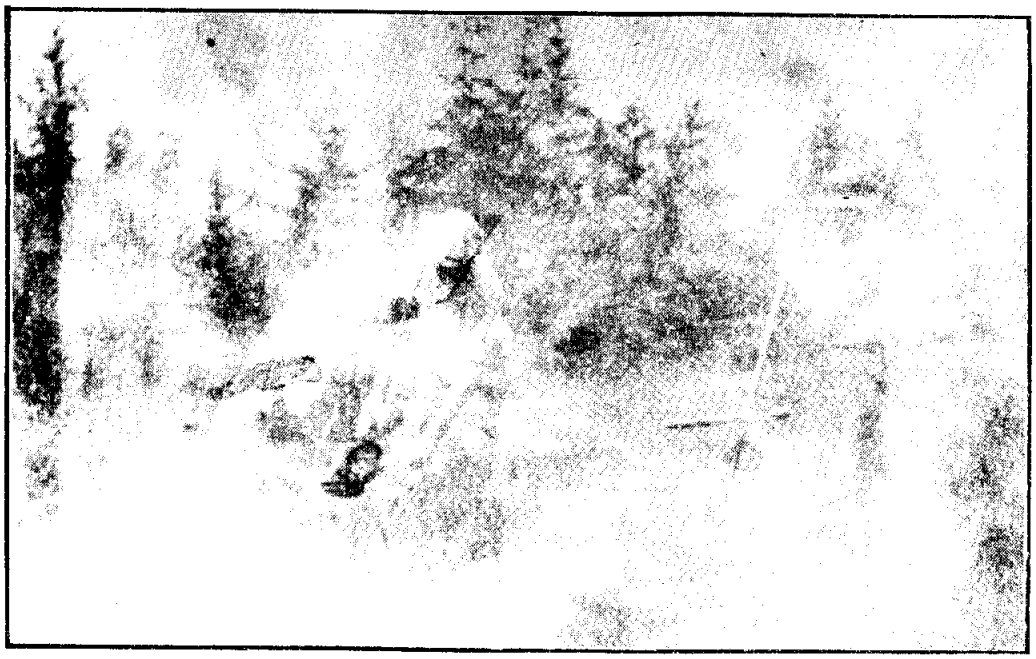
ใหม่จากที่วัดควรจดด้วยความรอบคอบเพื่อว่ามิให้เกิดความผิดพลาดขึ้นในการคำนวณระยะขั้นสุดท้าย แผ่นแถบโลหะปกติจะรักษาไว้เป็นส่วนหนึ่งของการบันทึก

โดยอาศัยวิธีดังได้กล่าวจะสามารถวัดเส้นฐานได้ในอัตราประมาณ 2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ด้วยเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานในหน่วยสนาม 6 คน

ปรากฏว่าเมื่อได้ทำการวัดขณะฝนตก หรือมีหมอกลงหนาจัด น้ำหนักของน้ำที่ติดอยู่กับโซ่หนักพอจะทำให้เกิดความเคลื่อนคลาดเกินกว่าที่จะยอมให้ในการวัดเส้นฐานที่มีลาดอย่างดีที่สุดเสียอีก ดังนั้นจึงไม่มีการวัดเส้นฐานชั้นที่ 1 เมื่อปรากฏชัดว่าความเคลื่อนคลาดจากภาวะเช่นนี้จะเกิดขึ้น

7. ความละเอียดถูกต้องที่ต้องการ

เส้นฐานจะแบ่งระยะออกเป็นตอน ๆ ประมาณ 1 กิโลเมตร และยังแบ่งระยะออกอีก 3 ช่วง ช่วงสุดจะทับกับปลายสุดของตอน ใช้โซ่ที่แตกต่างกันอย่างน้อย 3 เส้นในการวัดเส้นฐานเส้นเดียวกันนั้น และโซ่เหล่านี้ใช้ในลักษณะเพื่อเปรียบเทียบกันเอง และเพื่อค้นหาความเปลี่ยนแปลงระยะใด ๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ แต่ละตอนของ 3 ช่วงนี้จัดโซ่เข้าคู่กันเพื่อใช้วัด โซ่แต่ละเส้นจะวัดไปใน 1 ช่วง และวัดกลับในช่วงอื่น แต่ละตอนทำการวัดเพียง 2 ครั้ง ยกเว้นจะมีความแตกต่างระหว่างการรังวัด 2 ครั้ง เกิน $10\sqrt{K}$ (ซึ่ง K เป็นระยะของตอนเป็นกิโลเมตร) เป็นจำนวนมิลลิเมตร ซึ่งกรณีเช่นนี้จะต้องรังวัดเพิ่มเติมจนกระทั่งการรังวัดตกอยู่ภายใต้เขตจำกัดนี้จริง ๆ การรังวัดเส้นฐานเมื่อครบสองครั้งแล้วควรให้ผลความละเอียดถูกต้องซึ่งใช้แทนด้วย **"ความเคลื่อนคลาดคาดคะเน"** (Probable error) ที่ไม่โตกว่า 1 ใน 1,000,000 ความเคลื่อนคลาดที่แท้อันเนื่องจากไม่เข้าแนวเล็งจริง, การหมายระยะโซ่ และความเคลื่อนคลาดเนื่องจากลาดแรงดึง และอุณหภูมิไม่ควรเกิน 1 ใน 500,000 ของโซ่แต่ละเส้น



รูป 7.5 การรังวัดเส้นฐาน

8. การคำนวณความเคลื่อนคลาดคาดคะเนของเส้นฐาน

ในรายงานของผู้อำนวยการ U.S. Coast and Geodetic Survey ปี 2453 ได้ให้วิธีคำนวณความเคลื่อนคลาดคาดคะเนเส้นฐานไว้ ได้พิจารณาสาเหตุความเคลื่อนคลาดไว้ดังนี้

2.8.1 ความไม่แน่นอนในความยาวของโซ่

2.8.2 ความเคลื่อนคลาดในสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ และ

2.8.3 ความเคลื่อนคลาดจากการรังวัด

ในการคำนวณความเคลื่อนคลาดของแต่ละตอน ความเคลื่อนคลาดความยาวถือเอาจำนวนระยะความยาวในตอน $(n) \times \frac{1}{2} \sqrt{e_1^2 + e_2^2}$, ซึ่ง e_1 และ e_2 คือความเคลื่อนคลาดของโซ่ 2 เส้นที่ใช้ในการวัด ความเคลื่อนคลาดเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์อุณหภูมิได้ $n(t_o - t) \times \frac{1}{2} \sqrt{c_1^2 + c_2^2}$ ซึ่ง n คือจำนวนความยาวท่อนโซ่, t_o เป็นอุณหภูมิขณะเทียบโซ่, t คือ อุณหภูมิขณะรังวัด และ c_1 กับ c_2 เป็นความเคลื่อนคลาดคาดคะเนของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของโซ่ 2 เส้น

ความเคลื่อนคลาดคาดคะเนของตอนเนื่องจากความเคลื่อนคลาดในการรังวัด คือ

$$r_o = 0.6745 \sqrt{\frac{\Sigma V^2}{n' (n'-1)}}$$

ซึ่ง V คือ ค่าความต่างระหว่างค่าปานกลางกับค่ารังวัดแต่ละค่า และ n′ เป็นจำนวนรังวัดของตอน ความเคลื่อนคลาดคาดคะเนขั้นสุดท้ายของตอนหนึ่ง คือ การถอดกรณฑ์ที่ 2 ของผลบวกของความเคลื่อนคลาดทั้งสามนี้ยกกำลังสอง ความเคลื่อนคลาดของเส้นฐานทั้งหมด คือ การถอดกรณฑ์ที่ 2 ของผลบวกของความเคลื่อนคลาดคาดคะเนยกกำลังสองของตอนเหล่านั้น

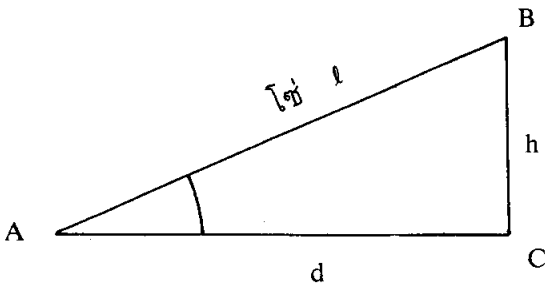
มักพิจารณาเสมอว่าความเคลื่อนคลาดการสอบเทียบ และการกำหนดหาสัมประสิทธิ์จะติดเข้ามาด้วย หรือไม่ก็แฝงเข้ามาด้วยความแตกต่างในระยะของตอนต่าง ๆ ที่รังวัด ดังนั้นความเคลื่อนคลาดคาดคะเนของแต่ละตอนคำนวณได้จากสมการ

$$P.e. = 0.6745 \sqrt{\frac{\Sigma V^2}{n\,(n-1)}}$$

ซึ่ง V คือ ความแตกต่างระหว่างค่าปานกลางกับค่ารังวัดแต่ละค่า และ n เป็นจำนวนครั้งของการรังวัดในตอนนี้ ตอนใดวัดเพียง 2 ครั้ง P.e. จะเป็น 0.6745 X ครึ่งหนึ่งของความต่างระหว่างระยะที่รังวัดสองครั้ง P.e. ของเส้นฐานทั้งหมด คือ ถอดกรณฑ์ของผลรวมความเคลื่อนคลาดคาดคะเนยกกำลังสองของตอนต่าง ๆ

9. การแก้การรังวัดเส้นฐาน, จำนวนแก้ลาด

ที่ใดซึ่งกำหนดหาลาดด้วยการทำระดับโดยตรง สูตรที่สะดวกที่สุดสำหรับการคำนวณระยะทางแนวนอน คือ สูตรที่เกี่ยวข้องกับความสูงต่างของปลายโซ่ ดังในรูป ให้ h เป็นความสูงต่างของปลายโซ่ A และ B



รูป 7.6

และให้ ℓ เป็นระยะ และ d คือ ระยะทางแนวนอนที่ต้องการ

จำนวนแก้ลาด $= C_g = \ell - d = \ell - \sqrt{\ell^2 - h^2}$

$$= \ell - \ell\sqrt{1 - \frac{h^2}{\ell^2}}$$

แต่ $(1 - \frac{h^2}{\ell^2})^{1/2} = 1 - \frac{h^2}{2\ell^2} - \frac{h^2}{8\ell^4} - \cdots\cdots\cdots$

ดังนั้น $C_g = \ell - \ell(1 - \frac{h^2}{2\ell^2} - \frac{h^4}{4\ell^4} - \cdots\cdots\cdots)$

$$= \frac{h^2}{2\ell} + \frac{h^4}{8\ell^3} + \cdots\cdots\cdots$$

หากลาดที่หาเป็นเทอมของมุมทางดิ่ง α จำนวนแก้อาจคำนวณจาก

$$C_g = 2\ell \sin^2 \frac{1}{2}\alpha = \ell \text{ Vers. } \alpha$$

ในงานเส้นฐานที่ดีความเคลื่อนคลาดทางระยะที่เนื่องจากความเคลื่อนคลาดในการกำหนดหาลาดไม่ควรเกิน 1 ใน 500,000

10. จำนวนแก้เพื่ออยู่ในแนวเส้นตรง

ความเคลื่อนคลาดในการเอาเส้นฐานเข้าแนวเส้นตรงอาจทำให้เล็กลงจนกระทั่งตัดทิ้งเสียได้ อย่างไรก็ดีหากจุดหนึ่งจุดใดพบว่าออกไปจากแนวจำนวนหนึ่งซึ่งเพียงพอจะกระทบกระเทือนระยะ จำนวนแก้อาจหาได้จากสูตรข้อ 2.9

11. จำนวนแก้อุณหภูมิ

จำนวนแก้อุณหภูมิอาจคำนวณได้ถ้าเราทราบสัมประสิทธิ์การขยายตัว, อุณหภูมิแท้ของโซ่และอุณหภูมิขณะเทียบ, และระยะความยาวของแนวที่รังวัด หากให้ k เป็นสัมประสิทธิ์การขยายตัว, t อุณหภูมิรังวัด, t_o อุณหภูมิขณะเทียบ และ L เป็นระยะที่วัด ดังนั้น

จำนวนแก้อุณหภูมิ $= + kL(t - t_o)$

จำนวนแก้อุณหภูมิมักนิพจน์เป็นเทอมในสมการโซ่ซึ่งจะได้แสดงในหัวข้อต่อไปนี้

12. จำนวนแก้ความยาวสัมบูรณ์

ความยาวโซ่มักนิพจน์ในรูปของสมการ เช่น $T_{516} = 50^{ม.} + (12.382^{มม.} \pm 0.016^{มม.}) + (0.0178^{มม.} \pm 0.0007^{มม.})$ (t – 25:8C) ซึ่งหมายความว่าโซ่หมายเลข 516 ยาวกว่า 50 เมตรอยู่ 12.382 มิลลิเมตร ณ อุณหภูมิ 25:8 เซ็นติเกรด และสำหรับ 0.016 มิลลิเมตร คือ ความไม่แน่นอนของการหาความยาวโซ่นี้ จำนวน 0.0178 คือ ความเปลี่ยนแปลงความยาวโซ่ 50 เมตร เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป 1° และ 0.0007 เป็นความไม่แน่นอนของจำนวนนี้ (สัมประสิทธิ์อุณหภูมิสำหรับโซ่เส้นนี้เป็น 0.000,000,356)

ตามที่ปฏิบัติกันในปัจจุบัน โซ่จะต้องนำเข้าเทียบที่ Bureau of Standards, Washington D.C. ภายใต้สภาวะอย่างเดียวกันอย่างแท้จริงในเรื่องน้ำหนักถ่วง, อุณหภูมิ และ การคานพยุงโซ่ เนื่องจากสิ่งเหล่านี้เมื่อปฏิบัติงานในสนามจะต้องยึดถือปฏิบัติคล้ายกับทำการเทียบโซ่ โดยวิธีนี้ความไม่แน่นอนทั้งหมดในความยาวสัมบูรณ์ และในจำนวนแก้แรงดึงจะต้องรักษา หรือคงไว้ภายในขอบเขตจำกัด

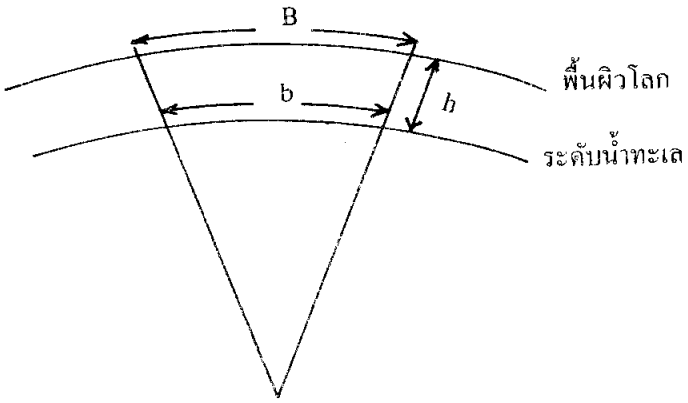
13. การทอนเส้นฐานลงสู่ระดับน้ำทะเล

เพื่อว่าระยะในโครงข่ายสามเหลี่ยมอาจต้องอ้างอิงลงบนพื้นเดียวกัน โดยปกติใช้ระยะความยาวสถิตลงบนพื้นระดับน้ำทะเลตามแนวดิ่งผ่านตำบลที่อยู่บนพื้นผิวโลก

ในรูปให้ B แทนเส้นฐานที่รังวัด ณ ความสูง h เหนือระดับน้ำทะเล (สมมติเป็นทรงกลม) และ b เป็นระยะเส้นฐานที่ทอนลงสู่พื้นระดับน้ำทะเล R_o เป็นรัศมีความโค้งของผิวโลก

ดังนั้น เนื่องจากส่วนโค้งเป็นปฏิภาคกับรัศมี จึงได้

$$\frac{b}{B} = \frac{R_o}{R_o + h} \quad \text{และ} \quad b = B \cdot \frac{1}{1 + \frac{h}{R_o}}$$



รูป 7.7

$$\therefore \quad b = B\left(1 - \frac{h}{R_o} + \frac{h^2}{R_o^2} \ldots\ldots\ldots\right)$$

ดังนั้น การตัดทอนลงสู่พื้นระดับน้ำทะเลจึงเป็น

$$b - B = -B.\frac{h}{R_o} + B.\frac{h^2}{R_o^2} \ldots\ldots\ldots$$

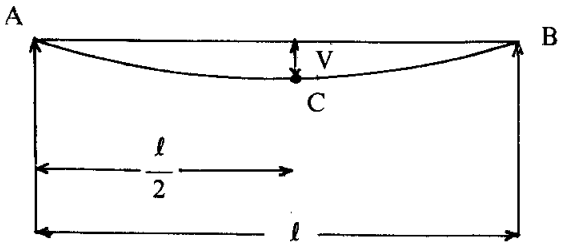
แต่ละตอนโดยปกติทอนลงแยกจากกัน นอกเสียจากเส้นฐานทั้งเส้นมีกำหนดสูงใกล้เคียงกัน กำหนดสูงที่ใช้ คือ ผลปานกลางของกำหนดสูงของปลายตอนต่าง ๆ

ปัญหา : จำเป็น หรือไม่ที่จะทอนระยะด้านสามเหลี่ยมแต่ละรูปลงสู่พื้นระดับน้ำทะเลแยกจากกัน?

14. จำนวนแก้ตกท้องช้าง

ระหว่างจุดค้ำโซ่สองจุดตามลำดับนั้น โซ่จะแขวนอยู่ในลักษณะหย่อนเป็นโค้ง เรียกว่า **ตกท้องช้าง** รูปของโค้งจะมากน้อยขึ้นอยู่กับน้ำหนักของโซ่, น้ำหนักถ่วง หรือแรงดึงที่ใช้ และระยะระหว่างจุดคานโซ่

ในรูป ให้ ℓ เป็นระยะตามแนวนอนระหว่างจุดคานโซ่ จุดคานโซ่สมมติอยู่ในระดับเดียวกัน ให้ n เป็นจำนวนท่อนโซ่นั้น t เป็นน้ำหนักถ่วง และ ω เป็นน้ำหนักของโซ่ในหน่วยความยาว ให้ V เป็นระยะทางดิ่งของท้องช้างจากจุดกึ่งกลางของโซ่ต่ำกว่าจุดคาน เนื่องจากโค้งราบมากภายใต้น้ำหนักถ่วง หรือแรงดึงที่ใช้ในงานสนาม ความยาวของท้องช้างจะเท่ากับโค้งบาลาโบลาซึ่งมีแกนเป็นระยะทางดิ่งซึ่งผ่านจุด A , B และ C



รูป 7.8

สมการพาลาโบลานี้ คือ $X^2 = \frac{\ell^2}{4V} .Y$ และความยาวของโค้งหาได้จากแคลคูลัส คือ $2S = \ell + \frac{8V^2}{3\ell} + ...$ ความต่าง $2S - \ell$ ระหว่างความยาวโค้ง AB และของ AB โดยประมาณ

$$2S - \ell = \frac{8}{3} \times \frac{V^2}{\ell} \qquad ..... (1)$$

หากเราพิจารณาแรงที่กระทำต่อโซ่ ณ จุด C และนำเอาการหมุนรอบจุดคาน A เราได้

$$\frac{\omega \ell}{2} \times \frac{\ell}{4} = V.t$$

$$\therefore \quad V = \frac{\omega \ell^2}{8t} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

เมื่อนำแทน (1) จะได้ V ใน (2) เราพบว่าการตกท้องช้างทำให้โซ่สั้นไป คือ

$$2S - \ell = \frac{8}{3\ell} \left(\frac{\omega \ell}{8t} \right)^2 = \frac{\ell}{24} \left(\frac{\omega \ell}{t} \right)^2$$

สำหรับ n ตอน เราได้ $n\ell = L$ ดังนั้น

จำนวนแก้ตกท้องช้าง $= C_s = \frac{L}{24} \left(\frac{\omega \ell}{t} \right)^2$ การพิสูจน์โดยละเอียดให้ดูในหนังสือระดับพิเศษภาคคำนวณของผู้เขียน

15. แรงดึง

ตัวคูณคงที่ของการยืดหยุ่นโซ่เนื่องจากแรงดึงที่ใช้ย่อมเท่ากับความเครียด (Stress) ซึ่งหารด้วยความเค้น (Strain)

ถ้า a = ความยาวยืดออก และ L = ระยะ และถ้า t เท่ากับแรงดึง กับ S = พื้นที่หน้าตัด

ดังนั้นตัวคูณคงที่ของความยืดหยุ่น E จะได้

$$E = \frac{t}{S} \div \frac{a}{L}$$

$$= \frac{Lt}{Sa}$$

ฉะนั้น ความยาวยืดออก $a = C_t = \frac{Lt}{SE}$ ซึ่ง C_t คือ จำนวนแก้ความยาวที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องจากน้ำหนักถ่วง หรือแรงดึง ปรากฏชัดว่าความต่างทางระยะอันเนื่องจากการเปลี่ยนแรงดึง t_o เป็นแรงดึง t คือ $a = \frac{L}{SE}(t - t_o)$

ค่าของ E จะได้รับด้วยการทดลองโดยใช้แรงดึงที่ทราบแล้ว และรังวัดหา a โดยตรง เพื่อยอมให้แรงดึงแปรเปลี่ยนได้เล็กน้อย เช่น แรงดึงอันเนื่องจากสปริงถ่วงไม่ดีที่จะให้อ่านค่าของโซ่ที่ต้องการขณะหนึ่ง จำนวนแก้หาได้ดังนี้

เนื่องจากระยะโซ่ที่มีประสิทธิผลย่อมขึ้นอยู่กับทั้งความยืดยาวออกไปอันเนื่องจากแรงดึงและความสั้นลงเนื่องจากการตกท้องช้าง และเนื่องจากทั้ง 2 ประการนี้เกี่ยวข้องกับ t ความแปรเปลี่ยนอาจพบได้จากการหาค่าอนุพันธ์ต่อไปนี้

$$\begin{aligned} L_1 &= L + C_t - C_s \\ &= L + \frac{Lt}{SE} - \frac{L}{24}\left(\frac{\omega \ell}{t}\right)^2 \end{aligned}$$

พิจารณา t เป็นตัวเปลี่ยนอิสระ อนุพันธ์จะได้

$$dL = \frac{L}{SE}.dt + \frac{L}{12}\left(\frac{\omega \ell}{t}\right)^2 . \frac{dt}{t}$$

นี่คือ จำนวนแก้อันเนื่องจากการแปรเปลี่ยนใน t เล็กน้อย จำนวนนี้อาจพบได้อย่างน่าพอใจจากการทดสอบจริง ๆ การแปรเปลี่ยน t ด้วยจำนวนที่ทราบ และการรังวัดการเปลี่ยนทางระยะก็หาได้โดยตรง

การปฏิบัติเพื่อเปรียบเทียบโซ่กับความยาวมาตรฐานนั้นกระทำเพียงครั้งเดียวเมื่อใช้คานตลอดระยะโซ่ และคำนวณการตกท้องช้าง และจำนวนแก้แรงดึงเพื่อหาระยะประสิทธิผลเมื่อมีการคานโซ่ ณ สองสามจุด การปฏิบัติปัจจุบันในการเปรียบเทียบโซ่ได้ภาวะการณ์อย่างเดียวกันก็คือ เมื่อปฏิบัติงานในสนามถืออย่างเดียวกับขณะเทียบซึ่งวิธีนี้จะขจัดความไม่แน่นอนทั้งหมดในจำนวนแก้ที่คำนวณได้เหล่านี้

16. การเปลี่ยนน้ำหนัก หรือตำแหน่งเทอร์มอมิเตอร์

หากใช้เทอร์มอมิเตอร์มีน้ำหนักต่างกันจากเทอร์มอมิเตอร์ที่เทียบไว้ หรือจะวางเทอร์มอมิเตอร์ ณ ตำแหน่งที่ต่างไปจากขณะเทียบ สามารถคำนวณผลจากระยะนั้นได้โดยอาศัยสูตร Dr. W.D. Lambert แห่ง Coast and Geodetic Survey

ถ้า S เป็นความยาวโค้ง (ตกท้องช้าง) ที่มีเทอร์มอมิเตอร์แนบติดอยู่

S_o เป็นความยาวที่ไม่มีเทอร์มอมิเตอร์ติดอยู่เลย

a เป็นระยะกึ่งกลางระหว่างจุดคาน

h เป็นระยะจากจุดกลางโค้งถึงเทอร์มอมิเตอร์

$C = T \div M$ ซึ่ง T คือ แรงดึง และ

M คือ น้ำหนักของโซ่ต่อหน่วยความยาว และ $\ell = P \div M$ ซึ่ง P คือ น้ำหนักของเทอร์มอมิเตอร์ ดังนั้น

$$S - S_o = \left(\frac{a^2 - h^2}{2C^2}\right)\left(\quad + \frac{\ell^2}{2a}\right)$$

นี่ให้การเปลี่ยนแปลงทางระยะสำหรับช่วงโค้งอันเดียว หากโซ่นั้นคานตรงกลางผลจะได้เป็น 2 เท่า หากเราสมมติให้โซ่ยาว 50 เมตร หนัก 25 กรัมต่อเมตร คานที่กึ่งกลางโซ่ใช้เทอร์มอมิเตอร์ 2 อัน แต่ละอันหนัก 25 กรัม แนบติดอยู่กับโซ่ถัดจากปลายโซ่เข้ามาข้างละ 1 เมตร ใช้แรงดึง 15 กิโลกรัม

ดังนั้น $S - S_o = 0.000\ 0347$ เมตร

หากเราเปลี่ยน P เป็น 45 กรัมแล้ว

$S - S_o = 0.000\ 0643$ เมตร

ดังนั้น การเปลี่ยนน้ำหนักของเทอร์มอมิเตอร์จาก 25 เป็น 45 กรัม ก็เปลี่ยนความยาวโซ่ได้ถึง 0.000 0592 เมตร หรือมากกว่า 1 ใน 1,000,000

17. การเทียบโซ่

มาตรฐานความยาวสำหรับสหรัฐนั้น คือ **เมตร** ซึ่งได้ฝากไว้กับสำนักงานเทียบน้ำหนักและรังวัดสากลที่ Sevre ในกรุงปารีส ประเทศฝรั่งเศส เป็นแท่ง Platinum สีขาวพร้อมกับมีขีดส่วนแบ่ง 3 ขีดที่ปลายทั้งสองข้างอย่างชัดเจน ระยะระหว่างเส้นขีดกลางของสองพวกนี้เมื่อแท่ง Platinum มีอุณหภูมิ 0°C และจุดคานอยู่กลางโซ่ตรง 28.5 เซ็นติเมตรจากจุดกึ่งกลางแต่ละด้านจะยาว 1 เมตรจริง มีแท่งจำลองจากของจริงนี้อีก 2 อัน (เรียก เมตรจำลอง) หมายเลข 27 และ 21 เป็นสมบัติของสหรัฐ และฝากไว้ที่สำนักงานตรวจเทียบที่ Washington D.C.

แท่งจำลองนี้ได้มาจากสำนักงานเทียบน้ำหนัก และรังวัดสากลในปี 1889 เมตรจำลองประกอบด้วยโลหะผสมของ Platinum 90 เปอร์เซ็นต์ และมีอิริเดียม (Iridium) อยู่ 10 เปอร์เซ็นต์ หน้าตัดเป็นรูปตัว X

แท่งหมาย M.27 เป็นระยะมาตรฐานในสหรัฐ สมการความยาวของแท่งนี้ คือ

$$\text{No : } 27 = 1\ \text{m} - 1.6\ \mu + 8.657\ \mu\, t + 0.00100\ \mu t^2$$

ซึ่ง 1 micron (μ) = 0.000,001 เมตร และ t คือ อุณหภูมิเป็นองศาเซนติเกรดจากเทอร์มอมิเตอร์ไฮโดรเยนสากล แท่งนี้ได้เปรียบเทียบกับเมตรปารีสปี 1904 และในปี 1922 อีก การเปลี่ยนแปลงที่เห็นชัดไม่ปรากฏ

ความเคลื่อนคลาดคาดคะเนการเปรียบเทียบของแท่งจำลองแห่งชาติกับเมตรสากลพบว่าเป็น $\pm$ 0.04 μ คาดว่าความไม่แน่นอนในทางความยาว ณ อุณหภูมิระหว่าง 20° และ 25° จะอยู่ระหว่าง $\pm$ 0.1 μ และ $\pm$ 0.2 μ

แท่งหมาย M.27 รักษาไว้ในกล่องโค้งทนไฟ (A fire-proof Vault) ที่สำนักงานสอบเทียบ และใช้เพียงเพื่อเทียบกับแท่งหมายเลข 21 กับแท่ง Platinum-iridium อื่น หมายเลข 21 ใช้เพื่อสำหรับสอบเทียบมาตรฐานอันที่สอง และใช้เพื่อสอบเทียบโซ่ต่าง ๆ ที่ใช้ในงานยีออเดติค

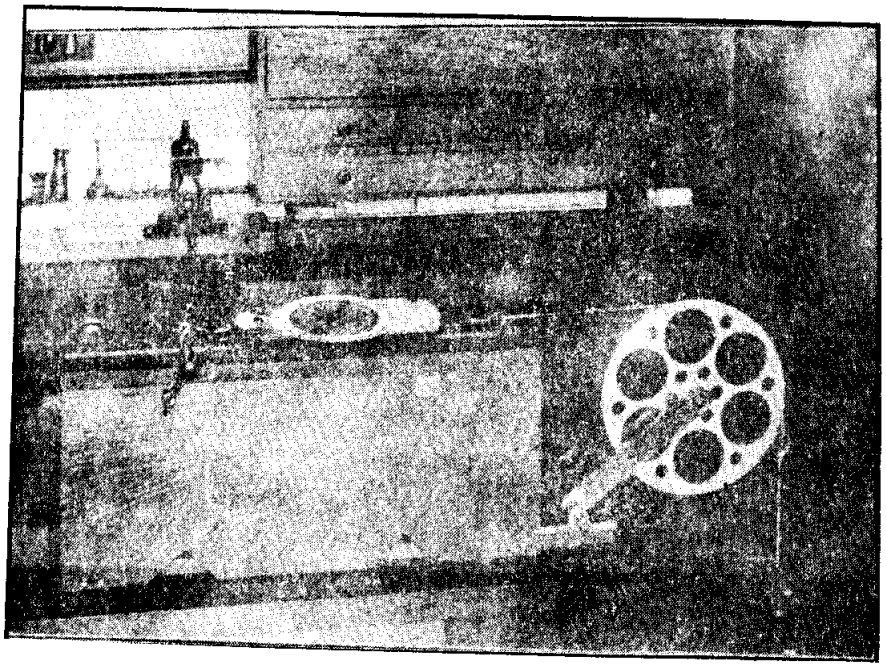
เมื่อโซ่อินวาร์ยาว 50 เมตร จะเข้าสอบเทียบขั้นแรก คือ ตรวจสอบกับระยะที่ใช้เป็นฐานในอุโมงค์ทดสอบโซ่ ระยะนี้หมายด้วยทรงกลม 2 อันที่ติดตั้งไว้ในเสาคอนกรีตจนกระทั่งส่วนสูงสุดของทรงกลมอยู่ในแนวระดับพื้น การรังวัดจากปลายทรงกลมด้วยกล้องจุลทัศน์

(เช่นเดียวกับบนเสาคอนกรีต) กระทำโดยใช้สิ่งที่เรียกกันว่า "**ทรงกระบอกตัดอ่าน**" ทรงกระบอกตัดอ่านประกอบด้วยท่อทางยืนซึ่งมีรูรูปกรวยที่ปลายล่าง แกนท่อทับกับแกนทรงกระบอก เมื่อนำทรงกระบอกไปวางบนทรงกลมศูนย์กลางทรงกลมจะอยู่ตรงแนวแกนทรงกระบอกอย่างแท้จริงเสมอ มีระดับฟองน้ำปรับให้แกนทรงกระบอกอยู่ในแนวดิ่งจริง ที่ปลายสุดบนของทรงกระบอกมีมาตรเป็นมิลลิเมตร ซึ่งอ่านด้วยกล้องจุลทัศน์

ณ ทุก 5 เมตรในอุโมงค์เป็นหลักเพื่อคานกล้องจุลทัศน์ ระหว่างหลักที่ 8 และที่ 9 มีหลักเพิ่มขึ้นตั้งไว้ทุก ๆ 1 เมตร ระยะ 50 เมตรทดสอบโดยอาศัยแท่งเหล็กกล้ายาว 5 เมตร เรียกกันว่า **แท่งเหล็ก** Woodward หรือ B.17 แท่งเหล็กกล้านี้เทียบสอบกับแท่งหมายเลข 21 ณ ย่านต่าง ๆ โดยอาศัยกล้องจุลทัศน์ที่ตั้งอ่านไว้ทุก 1 เมตร เมื่อใช้ B.17 จะต้องเก็บเอาไว้ในกล่องน้ำแข็งที่ละลายในรูปตัว Y โดยคุมอุณหภูมิตลอด

การทดสอบที่สมบูรณ์ของโซ่ประกอบด้วยการรังวัดระยะ 5. เมตรอันแรกระหว่างกล้องจุลทัศน์ต่าง ๆ โดยอาศัยแท่ง M.21 แล้วระยะ 50 เมตรระหว่างทรงกลมโดยอาศัย B.17 และในที่สุดเปรียบเทียบโซ่กับระยะ 50 เมตร โซ่ที่ใช้คาน และใช้แรงดึงขณะสอบเทียบเวลาปฏิบัติงานในสนามจะต้องถืออย่างเดียวกับขณะสอบเทียบ

ความเคลื่อนคลาดในการหมายระยะ 5 เมตรประมาณว่าเป็น 1.1 μ หรือประมาณ 1 ใน 5,000,000 และการหมายระยะ 50 เมตร (ในเทอมของ 10 เท่าระยะ B.17) เป็น 0.015 มิลลิเมตร ความเคลื่อนคลาดในการเปรียบเทียบโซ่กับระยะฐานจาก 1 ใน 10,000,000 เกิน 1 ใน 1,000,000 ประกาศนียบัตรที่เทียบไว้เรียบร้อยให้กับโซ่จะบอกความเคลื่อนคลาดของระยะที่ให้ไม่เกิน 1 ใน 1,500,000 และบอกความเคลื่อนคลาดสัมบูรณ์ไม่เกิน 1 ใน 500,000 แหล่ง ความเคลื่อนคลาดที่สำคัญในการกำหนดหาความยาวโซ่ปรากฏชัดว่าระยะแท่ง 1 เมตร เองไม่แน่นอน



รูป 7.9 การเทียบโซ่

แท่ง 1 เมตร เองไม่แน่นอน แม้ความเคลื่อนคลาดนี้จะมีขนาดเล็กจนกระทั่งไม่สามารถจะกระทบกระเทือนการสอบเทียบโซ่อย่างเห็นชัด อนึ่ง การกำหนดหาอย่างถูกต้องนั้นอย่างน้อยที่สุดวิธีการสอบเทียบมีความละเอียดถูกต้องที่ต้องการยิ่งกว่างานยีออเดติคเสียอีก

ปัญหาโจทย์

1. จงหาสมการพาลาโบลาในข้อ 2.14 และคำนวณความยาวของพาลาโบลา ระหว่างจุดคานโซ่ที่ A และ B

2. ความต่างกำหนดสูงของปลายทั้งสองของโซ่ 50 เมตร เป็น 7.22 ฟุต ซึ่งได้จากการทำระดับ จำนวนแก้ (เป็นเมตร) เพื่อทอนระยะลาดสู่ระยะทางแนวนอนเป็นเท่าไร?

3. ความยาวเส้นฐานเป็น 17486.5800 เมตร รังวัด ณ กำหนดสูง (เฉลี่ย) 34.16 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล จุดกึ่งกลางมีละติจูดเป็น 38° 36′ ภาคของทิศ (อะซิมุท) ของเส้นฐานเป็น 16° 54′ ความยาวของเส้นฐานซึ่งทอนลงสู่พื้นระดับน้ำทะเลแล้วเป็นเท่าไร?