

ระบบทางส่งน้ำโรมัน Roman Aquaduct System

โอชกร ภาคสุวรรณ¹

ภาควิชาสถาปัตยกรรมและการวางแผน

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ในยุคโรมันโบราณ กรุงโรมมีประชากรมากถึงหนึ่งล้านคน ในคริสต์ศตวรรษที่ 1 การที่มีคนมาอยู่รวมตัวกันมากขนาดนั้น ความต้องการพื้นฐานจะมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการดำรงชีวิต ไม่ว่าจะเป็นปัจจัย 4 เช่น เรื่องของ อาหาร น้ำ เครื่องนุ่งห่ม ที่อยู่อาศัย ยารักษาโรค ในบทความนี้จะศึกษาในเรื่องของน้ำที่มาใช้หล่อเลี้ยงกรุงโรมเป็นหลัก ข้อมูลที่นำมาอ้างอิงประกอบศึกษาได้จากหลายแหล่ง เช่น หนังสือ บทความทางวิชาการ รวมถึงข้อมูลสารสนเทศ วิดีทัศน์ต่างๆ จาก YouTube Google Earth ที่เป็นสื่ออิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถทำให้เห็นภาพที่เคลื่อนไหวและได้ยินเสียงเว็บไซต์ที่เขียนเกี่ยวกับระบบทางส่งน้ำ (อควาดัค - Aqueduct) ต่างๆ โดยเฉพาะหนังสือทางสถาปัตยกรรมชุดแรกที่เขียนโดย Marcus Vitruvius Pollio - The ten Books on Architecture ได้มีการเขียนบันทึกในบทที่กล่าวถึงการหาน้ำเพื่อมาหล่อเลี้ยงเมืองขนาดใหญ่ โดยเฉพาะระบบสุขาภิบาล (Sanitary System) จะเห็นได้ว่าความเข้าใจในเรื่องของวิศวกรรมน้ำ (Hydrology engineering) เป็นสิ่งที่ชาวโรมันสามารถทำได้เป็นอย่างดี วิศวกรโรมันใช้หลักการพื้นฐานของน้ำที่ไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำรวมถึงกฎของแรงดันน้ำมาบังคับทิศทางของน้ำไปสู่ตัวเมือง จากต้นน้ำที่อยู่ไกลหลายสิบกิโลเมตร (บางเส้นทางมีความยาวกว่าร้อยกิโลเมตร) บนภูเขาที่เป็นต้นน้ำ รวมถึงสามารถป้องกันไม่ให้น้ำถูกปนเปื้อนจากสภาพแวดล้อม และไหลลงมาถึงกรุงโรม มีการส่งน้ำที่มีคุณภาพดีกระจายให้ใช้งานเป็นสาธารณะ มีงานน้ำพุที่มีชื่อเสียงบางแห่งยังใช้งานได้ดีจนถึงปัจจุบัน เช่น น้ำพุทรีวี (Trevi Fountain) ในโรมระบบระบายน้ำยังรวมถึงการบำบัดของเสียของเมือง (Sewage System) ที่ทำความสะอาดให้กับกรุงโรมอีกด้วย

พื้นฐานของการไหลของน้ำจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำนั้นเป็นหลักการง่ายๆ ที่ทุกคนสามารถเข้าใจได้ แต่ชาวโรมันต้องมีความเชี่ยวชาญในการที่จะบังคับการไหลของน้ำและการจัดการเรื่องระดับ เพื่อให้ น้ำค่อยๆ ไหลจากภูเขาสูง ต้นน้ำ ลงมาสู่เมือง การทำทางส่งน้ำ มีอยู่สามวิธีคือ 1 เจาะทะลุภูเขา 2 สร้างสะพานส่งน้ำ 3 ใช้หลักการกัลกน้ำ ทั้งนี้การที่จะทำให้น้ำไหลได้อย่างต่อเนื่อง จะต้องมีการกำหนดเส้นทางและการลาดเอียง ดังนั้นงานสำรวจและก่อสร้างต้องมีความแม่นยำ ค่าถามคือ ชาวโรมันทำได้อย่างไร วิศวกรโรมันต้องใช้เทคนิคและวิธีการก่อสร้างเฉพาะ มีเครื่องมือเครื่องใช้ที่สามารถวัดระยะต่างๆ ทั้งแนวดิ่งและแนวราบเพื่อใช้ในการก่อสร้าง สิ่งที่ทำให้งานก่อสร้างของกรุงโรมพัฒนาอย่างก้าวกระโดดคือการคิดค้นวัสดุเช่น ซีเมนต์ (Cement) เพื่องานก่อสร้างโครงสร้างขนาดใหญ่ นอกจากนั้น วัสดุที่โรมันสามารถนำมาใช้ทำท่อส่งน้ำต่างๆ เช่น ท่อดีบุก (Lead Pipe) หรือ ท่อดินเผา (Clay Pipe) ที่นำมาใช้ในลักษณะเฉพาะของท่อส่งน้ำสำหรับเพิ่มแรงดัน นับเป็นวิวัฒนาการในการใช้วัสดุสำหรับการก่อสร้างที่พัฒนาได้ดี วิศวกรชาวโรมันได้ค้นคิดวิธีการถ่ายแรงของโครงสร้างผนัง หรือกำแพง โดยระบบการถ่ายแรงแบบโค้ง (Roman Arch) เพื่อกระจายน้ำหนักของโครงสร้างทำให้เกิดช่องเปิดบนกำแพงและสามารถลดปริมาณวัสดุที่ใช้ก่อสร้างได้อย่างมาก จะเห็นได้ว่ากรุงโรมเป็นต้นแบบของอารยธรรมของเมืองขนาดใหญ่ต่อจากกรีก การที่ชาวโรมันมีน้ำสะอาด และมีน้ำใช้ที่เป็นสาธารณะนั้นจะต้องมีกระบวนการจัดการอย่างยิ่งใหญ่ มีการบันทึกว่า โรมใช้แรงงานกว่า 700 คนในการดูแลทางส่งน้ำต่างๆ ให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ การมีน้ำใช้ในกรุงโรมเป็นมิติทางวัฒนธรรมและการใช้ชีวิต กรุงโรมมีที่อาบน้ำสาธารณะขนาดใหญ่ ที่ประกอบด้วยบ่อน้ำร้อนและน้ำเย็น เป็นที่พบปะของเหล่านักคิด ผู้ปกครองต่างๆ

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

มีการทำเหรียญที่ระลึกในช่วงของเวลาของการก่อสร้างทางส่งน้ำอควาดัค (Aqueduct) เป็นสิ่งบ่งบอกถึงวันเวลาในการก่อสร้าง และเป็นรากฐานของระบบการเงินการคลัง การปรากฏน้ำพุในเมืองไม่เป็นเพียงให้มีน้ำสะอาดไว้ใช้ แต่ยังเป็นเสมือนเครื่องปรับอากาศที่พ่นฝอยน้ำเพื่อลดอุณหภูมิของเมืองได้เป็นอย่างดี มีการบริหารจัดการน้ำที่แจกจ่ายให้ประชาชนกว่าหนึ่งล้านคน รวมถึงในมิติของงานออกแบบเป็นสิ่งที่นักศึกษาสถาปัตยกรรมควรรู้ศึกษาเส้นทางส่งน้ำอควาดัคเป็นองค์ประกอบของการออกแบบผังเมืองที่มีมิติทางวัฒนธรรม และอควาดัคยังแสดงให้เห็นถึงหลักการพื้นฐานของงานก่อสร้างทางวิศวกรรม สถาปัตยกรรม ได้เป็นอย่างดี

สิ่งที่ชาวโรมันได้สร้างไว้ ณ กรุงโรม ทำให้เห็นถึงวิวัฒนาการทางงานวิศวกรรมและสถาปัตยกรรมที่ยิ่งใหญ่ ความสามารถในการบังคับธรรมชาติเพื่อสนองความต้องการของการอุปโภคบริโภคของมนุษย์ การเข้าใจในธรรมชาติของน้ำที่ไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำและมีแรงดันน้ำที่นำมาใช้เป็นพลังงานได้นับว่าเป็นวิวัฒนาการที่ยิ่งใหญ่ก่อนยุคปฏิวัติอุตสาหกรรม การที่มีน้ำพุขนาดใหญ่กลางเมืองโดยที่ไม่ใช้กระแสไฟฟ้าหรือปั๊มน้ำนั้นเป็นสิ่งที่คนในปัจจุบันยังไม่สามารถจินตนาการได้ นักท่องเที่ยวได้แต่พร่ำบ่นว่า กรุงโรมทำไมใช้น้ำเปลืองและเปิดน้ำทิ้งที่น้ำพุต่างๆ ตลอดเวลา ย้อนกลับมาดูสิ่งที่เกิดขึ้นกับกรุงเทพฯ หรือเมืองใหญ่ๆ ที่เป็นมหานคร (Mega City) เช่นในปัจจุบัน (พ.ศ. 2558) การบริหารจัดการน้ำที่มีทั้งน้ำท่วมใหญ่ และน้ำแล้งต่างๆ ที่มีวิวัฒนาการ มีเทคโนโลยีขั้นสูง กลับหลงลืมพื้นฐานในการจัดการน้ำ ที่เป็นปัจจัยพื้นฐานในการดำรงชีวิต

คำสำคัญ: ทางส่งน้ำอควาดัค การจัดการน้ำ สะพานส่งน้ำ กาลักน้ำ โครงสร้างโค้งโรมัน

Abstract

Ancient Civilisation, Rome populations grew more than a million people in AD. 1. When you have population of this size, the basic needs to sustain all inhabitants consisting of 1) food & water 2) clothing 3) shelter and 4) medicine. In this article will focus on water that supply an ancient city like Rome. The sources of information come from books, research papers, also many websites that bring Roman to your desktop, such as You Tube, Google Earth, using these technology that you can experience aqueduct with-out traveling to Rome. The first textbook about architecture, written by Marcus Vitruvius Pollio - The ten books on architecture has a chapter on this subject. The Roman has a great knowledge on Hydrology Engineering, especially sanitary system. The flow of water runs form high ground to the city without electric power like today. Roman use the water pressure to work on mining and agriculture as well. Today, The Trevi Fountain in Rome is still flowing. Water is also used for cleaning the city of Rome.

Basic knowledge of gravitational, water flow from high ground to low ground, is simple knowledge to everyone. The Roman knows more of controlling direction of water from mountain to city. There are three ways to direct water 1) tunnel through the mountain 2) two-tier bridge and 3) siphon. The flow has to be constant so that the supply of water can be continuous. The slope and direction needs to be survey with precision. The question is how the Roman construct aqueduct. Roman engineer has tools and knowledge on engineering and the materials that make Roman advance in construction is Cement. They use it to construct a large scale structure, as a bonding structural element. The use of lead pipe and clay pipe also helps in direct-water to the needed location, and control pressure where it needed. Another leap of Roman engineering is a Roman arch. Its transfer structure load on bearing wall in an arch form, reduce the construction material and structure load. It creates the opening on solid wall. Rome is a good example of a mega city after Greek, it has public water for everyone to use. Aqueduct is a large scale management. There was a record of 700

workers to care for aqueducts, keep it constant flow of fresh water. Rome use water as a cultural and a way of living. Bath house in Rome was a meeting place for scholars and thinker. During the construction of aqueduct the coin to celebrate the opening has been made. Its date the construction era and exhibit the economics society. Fountain in the city is not only supply fresh water, but also a spray of water droplets to cool down surrounding. This will reduce temperature in the city just like air-condition. Water management of Rome is a public amenity that supply over a million inhabitant. The design of aqueduct is a great architectural design and an element of urban fabric.

Roman aqueduct was a great achievement in architecture and engineering. It shows that man has try to control nature, to satisfy the human needs. The understanding of liquid flow and water pressure is a great knowledge, before the industrial revolution. Fountain and aqueduct that bring abundant of water to Rome without the use of electricity is unimaginable for today traveller. From 2,000 years ago, comparing with the city such as Bangkok (2015), a mega city that still have problems with flooding and drought. The city planner need to be aware of this basic knowledge in water management, and turns it to be a way of city life.

Keywords: Aqueduct Water Management Two-Tier Bridge Siphon Roman Arch

1. บทนำ

ถ้าเราย้อนเวลากลับไปได้ เราจะได้เห็นเมืองที่ยิ่งใหญ่อย่างกรุงโรม เมืองที่เป็นศูนย์กลางของทุกสิ่งทุกอย่างเมื่อกว่า 2,000 ปีที่ผ่านมา ดังคำกล่าวโบราณที่ว่า "ถนนทุกสายมุ่งสู่กรุงโรม ... All Roads Lead to Rome" นั้นแสดงถึงความสำคัญ ของกรุงโรมที่ผู้คนต้องการเข้ามาแสวงหาโอกาส แสวงหางาน เจกเช่นเดียวกับเมืองใหญ่ในปัจจุบัน ในปี ค.ศ. 1 (AD1) กรุงโรม มีประชากรมากกว่าหนึ่งล้านคน นับเป็นเมืองขนาดใหญ่และอาณาจักรโรมันก็ยังแผ่กว้างไปไกล ทางเหนือจรดเกาะอังกฤษ ทางตะวันออกจรดซีเรีย เมโสโปเตเมีย ทางใต้ข้ามทะเลเมดิเตอร์เรเนียนถึงอียิปต์ แอฟริกา และทางตะวันตก ถึงสเปน เมื่อกรุงโรมเป็นจุดศูนย์กลางทำให้การจัดการเรื่องที่อยู่อาศัย อาหารและน้ำที่นำมาบริโภค รวมถึงการจัดการด้านอื่นๆ เพื่อให้ ถูกสุขลักษณะ การสาธารณสุขพื้นฐานต้องได้รับการจัดการอย่างมีระบบ ในบทความนี้จะมุ่งศึกษาในเรื่องของการนำน้ำสะอาด ที่เป็นปัจจัยหลักสำหรับการใช้ชีวิตเข้ามาหล่อเลี้ยงกรุงโรม จากหนังสือ The ten books on architecture เขียนโดย Marcus Vitruvius Pollio วิศวกรและสถาปนิกชาวโรมัน² ได้กล่าวถึงการจัดหาน้ำสะอาด จากธรรมชาติ อุปกรณ์ในการยก ระดับน้ำ ต่างๆ รวมถึง สะพานส่งน้ำ (Aqueducts) บ่อเก็บน้ำ (Wells and Cisterns) ซึ่งเป็นพื้นฐานทางวิศวกรรม รวมถึงข้อมูล ในปัจจุบันที่สามารถทำให้เห็นภาพ วิดีทัศน์ จาก www.aqueducthunter.com ที่ซึ่ง ศาสตราจารย์ Lorenzo Quilici ที่ทำการ ศึกษาและแสวงหาท่อส่งน้ำของโรม รวมถึงการเดินทางในปัจจุบันโดย Google Earth ที่ทำให้เราสามารถสำรวจโลกปัจจุบัน ได้จากหน้าจอคอมพิวเตอร์

2. ความเป็นมา

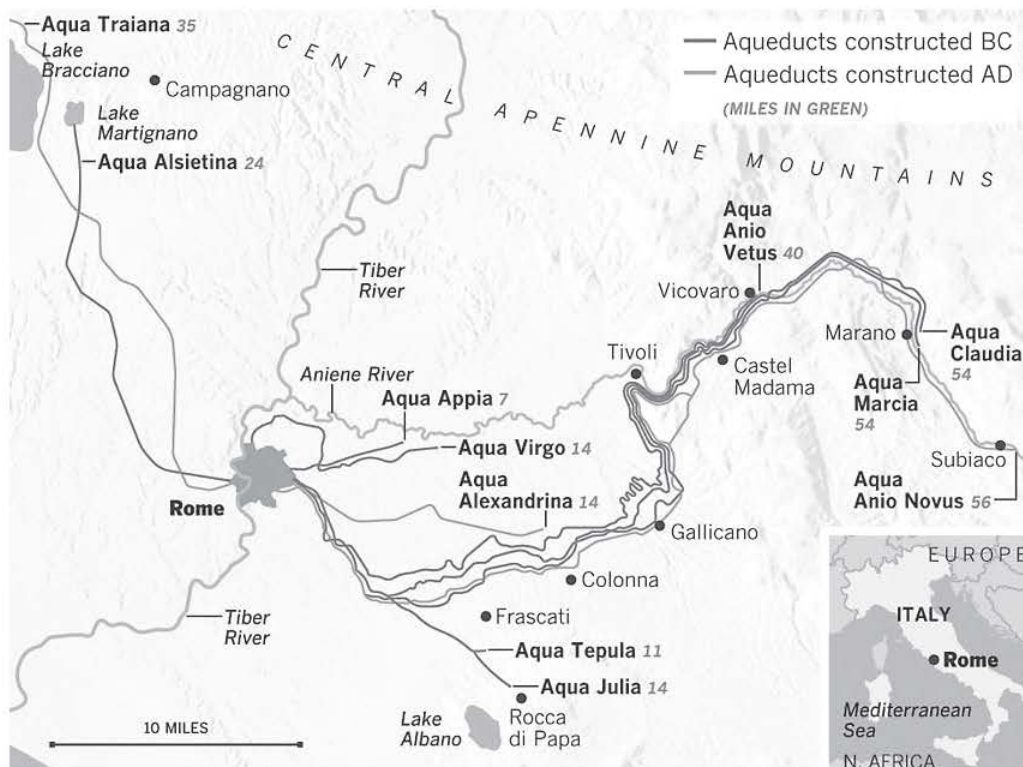
การจัดการเมืองขนาดใหญ่ในยุคประวัติศาสตร์ก่อนการปฏิวัติอุตสาหกรรมนั้น เราต้องจินตนาการถึงความเป็นอยู่ ของผู้คนในยุคนั้นว่าเขามีวิธีการนำน้ำมาใช้ในการอุปโภคบริโภคได้อย่างไร ในสมัยที่ยังไม่มีกระแสไฟฟ้า ไม่มีปั๊มน้ำที่สามารถ ดันน้ำไปสู่จุดต่างๆ ของเมือง และไม่มีก๊อคน้ำเจกเช่นในปัจจุบัน (ทุกวันนี้เราสามารถเปิดหน้าต่างได้เมื่อเราต้องการ) ในสมัยก่อน อาจจะต้องใช้แรงคนงานแบกหามน้ำสะอาดจากแม่น้ำเพื่อมาใช้อุปโภคบริโภค ขนมาถึงบริเวณที่อยู่อาศัย แม่น้ำสายหลัก ที่ไหลผ่านกรุงโรม คือแม่น้ำไทเบอร์ (Tiber River) ซึ่งในช่วงเวลานั้น น้ำในแม่น้ำไม่สามารถนำมาใช้ในการบริโภคได้ เนื่องจาก

² The ten books on Architecture ในเล่มที่ 8 บทที่ 6

มีเชื้อโรคที่มากับน้ำทำให้เกิดปัญหาทางสาธารณสุข อย่างไรก็ตามการก่อเกิดเมืองขนาดใหญ่จะเกิดตามลำน้ำหลักทั้งสิ้น เช่น อียิปต์แม่น้ำไนล์ อินเดียแม่น้ำคงคา หรือแม้แต่กรุงเทพ ที่มีแม่น้ำเจ้าพระยาไหลผ่าน จากหลักฐานทางประวัติศาสตร์กรุงโรมมีทางส่งน้ำอควาตัด จำนวน 11 เส้นทางที่ใช้น้ำสะอาดเข้ามาสู่กรุงโรม และวิธีการก่อสร้างทางส่งน้ำ ยังเป็นเทคนิคการก่อสร้างเดียวกัน ของทางส่งน้ำใน ฝรั่งเศส กรีซ ตุรกี โดยเฉพาะ ที่สเปน ที่ยังหลงเหลือโครงสร้างโค้งโรมัน (Roman Arch) ของทางส่งน้ำ เช่น เซโกเวียอควาตัด (Aqueduct of Segovia) ซึ่งเป็นสถานที่ท่องเที่ยวที่มีชื่อเสียง มีการขนส่งน้ำด้วยงานทางวิศวกรรม มาจากต้นน้ำระยะทางกว่า 50 ไมล์ หรือ กว่า 80 กิโลเมตร เป็นสิ่งก่อสร้างที่ยิ่งใหญ่ของมนุษย์ท่อส่งน้ำ (Aquaduct) มีรากศัพท์มาจากภาษาละติน คำว่า อควา Aqua หมายถึงน้ำ และ ดัคคิวรี Ducere แปลว่าการนำทาง (to lead) ท่อส่งน้ำเส้นแรกของกรุงโรมสร้างขึ้นในสมัยของ Censor Appius Claudius Caecus - 312 ปีก่อนคริสตกาล (312BC) ในยุคนั้นจะมีโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่อยู่สองโครงการคือ ถนนจาก คาปัว (Capua) ไปกรุงโรม และ อควา อเพีย (Aqua Appia) ที่ส่งน้ำจากต้นน้ำระยะห่าง 16.4 กิโลเมตร มีระดับความสูง 10 เมตรมาที่ตลาดปศุสัตว์ (Rome's Cattle Market) ที่ลานโบเรียม (Forum Boarium) มีปริมาณน้ำ 75,500 ลูกบาศก์เมตรต่อวันที่ไหลผ่าน โครงสร้างหลักจะเป็นทางใต้ดินที่ขุดเป็นร่อง มีผนังรอบด้านเพื่อป้องกันการเจือปน และการทำลายจากศัตรู ท่อส่งน้ำที่สองคือ อนิโอเกา (Old Anio) สามารถนำน้ำเข้ามาในกรุงโรมมากกว่า และสามารถปล่อยน้ำในตำแหน่งที่สูงขึ้นของกรุงโรม ท่อส่งน้ำที่สองนี้มีระยะทางถึง 81 กิโลเมตร เนื่องจากการสร้างสะพานส่งน้ำที่เป็นโครงสร้างขนาดใหญ่หลังจากนั้นกรุงโรมมีการสร้าง ท่อส่งน้ำรวม 11 เส้นทางเส้นสุดท้ายคือ อเล็กซานดรีนา (Alexandrina) สร้างในปี ค.ศ. 226 รวมระยะเวลากว่าห้าร้อยปี จนถึงการล่มสลายของอารยธรรม อาณาจักรโรมัน

การมีน้ำหล่อเลี้ยงเมืองนั้นเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับผู้ปกครองสมัยโรมันเพราะเป็นการบริการสาธารณะที่สำคัญอย่างหนึ่ง น้ำสะอาดที่ไหลเข้าสู่เมืองจะถูกส่งไปยังจุดส่งน้ำต่างๆ ที่เป็นน้ำพุ (Fountain) และโรงอาบน้ำสาธารณะ (Thermae) ที่มีการแบ่งน้ำประเภทต่างๆ ตามระดับอุณหภูมิ ได้แก่ ห้องอาบน้ำเย็น (Frigidarium) ห้องอาบน้ำอุ่น (Tepidarium) และห้องอาบน้ำร้อน (Caldarium) บางส่วนจะขายให้กับผู้มีรายได้ น้ำพุในเมืองจะมีการออกแบบทั้งงดงาม และมีความหมาย เป็นวิธีการลดแรงดันภายในท่อระบบส่งน้ำและน้ำพุที่พ่นน้ำเป็นละอองอยู่ตลอดเวลา โดยไม่ใช้ไฟฟ้า น้ำที่กระเซ็นลงบนหินแล้วระเหยขึ้นสู่อากาศเปรียบเสมือน เครื่องปรับอากาศสาธารณะสำหรับลดอุณหภูมิโดยรอบได้เป็นอย่างดี (การทำความเย็นโดยอาศัยการระเหยยังเป็นหัวใจของระบบทำความเย็นทั้งหลายในปัจจุบัน)³ น้ำส่วนที่เหลือจะถูกส่งต่อไปยังระบบบำบัดของเมือง ไม่ว่าจะเป็นทำความสะอาดส้วมสาธารณะหรือท่อน้ำทิ้งต่างๆ ที่ชาวโรมันสามารถจัดการระบบบำบัด (Sewer System) ทำให้ชาวเมืองมีสุขลักษณะที่ดี รวมถึงการใช้ในกิจกรรมอื่นๆ ที่เป็นเรื่องของการผลิต เช่น การทำเหมือง การทำโรงงานและการเกษตรกรรมสามารถหล่อเลี้ยงประชากรได้นับล้านคน กรุงโรมได้จัดคนสำหรับดูแลจัดการในเรื่องของน้ำถึงกว่า 700 คน เพื่อดูแลการใช้น้ำให้เหมาะสม การทำความสะอาดเส้นทางส่งน้ำ รวมถึงการซ่อมแซมเส้นทางให้ใช้ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ชาวโรมันเชื่อว่าเขาเป็นคนที่มีความรู้สูงกว่าชนชาติอื่นๆ เนื่องจากเขาสะอาดกว่า เพราะมีน้ำอาบตลอดเวลา

³ National Geographic ฉบับพิเศษ ย้อนรอย กรีกร-โรมัน หน้า 166



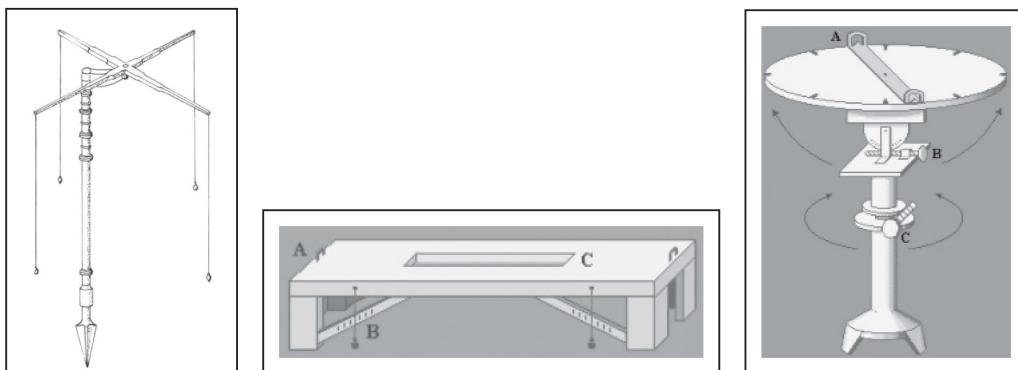
รูปที่ 1 เส้นทางส่งน้ำ aqueduct 11 เส้นทาง

ที่มา: Velhagen & Kläing, Plan of Imperial Rome; GeoCities;
www.romanaqueducts.info

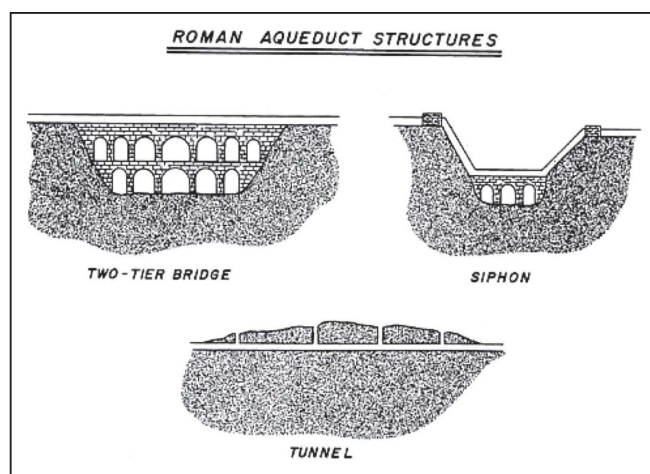
3. การก่อสร้าง

น้ำสะอาดที่ไหลผ่านกรุงโรม จากท่อส่งน้ำนั้นจะไหลด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกเป็นหลัก ดังนั้นความแตกต่างของระดับจากต้นน้ำมาจนถึงเมืองนั้นมีความสำคัญ และการไหลของน้ำในความเร็วที่ไม่เร็วเกินไปจนทำให้โครงสร้างพังและไม่เข้ากันที่อาจจะทำให้เกิดตะกอนเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึง การนำน้ำจากต้นน้ำที่เป็นตาน้ำ (Spring Water) และ อ่างเก็บน้ำ (Reservoir) ที่อยู่ต้นน้ำ จะต้องมีการสำรวจคุณภาพของน้ำ สี ความใสดูว่าคุณภาพเป็นอย่างไรเหมาะที่จะใช้ป็นวัตถุดิบหรือไม่ รวมถึงสุขภาพของผู้คนที่อยู่บริเวณต้นน้ำว่ามีสุขภาพสมบูรณ์ดีหรือไม่ ก่อนที่จะมากำหนดเส้นทางที่จะนำน้ำเข้ามาสู่กรุงโรม เครื่องมือที่ใช้ในการกำหนดความลาดเอียงและแนวเส้นทาง อุปกรณ์โบราณนี้เรียกว่า โกรมา (Groma) เป็นอุปกรณ์ทางงานสำรวจในยุคโบราณ มีลักษณะเป็นกากบาทตั้งอยู่บนแกนหลัก โดยมีดัมถ่วงน้ำหนักผูกติดอยู่ทั้ง 4 ปลาย ใช้เพื่อการเล็งระยะในแนวระนาบ และแกนฉาก 90 องศา รวมถึงแนวตั้งฉากกับผิวโลกด้วยการสังเกต เชือกและดัมถ่วงน้ำหนักวิศวกรโรมันใช้อุปกรณ์นี้ในการวางแนวของเส้นทางส่งน้ำ มีเครื่องมืออีกสองชนิดที่ช่วยในการจัดระดับ คือ ไดออป-ตรา (Dioptra) สำหรับการวัดระดับอุปกรณ์คล้ายระดับน้ำในปัจจุบัน และ โซราเบท (Chorabates) สำหรับกำหนดทิศทางเช่นเดียวกับกล้องระดับสำหรับการสำรวจในปัจจุบัน คนที่กำหนดรายละเอียด (Curator Aquarum) ที่เป็นผู้รับคำสั่งจากจักรพรรดิ และมีผู้รับเหมามาประมูลงานก่อสร้าง ให้สามารถดำเนินการตามที่กำหนดระยะทางจากต้นน้ำถึงกรุงโรมมีระยะทางตั้งแต่ สิบกว่ากิโลเมตร จนถึงระยะทางกว่าแปดสิบกิโลเมตร ในแต่ละเส้นทาง จะมีวิธีการสร้างโครงสร้างอยู่สามวิธีหลัก คือ สร้างสะพานเพื่อข้ามช่องเขา (Two-Tier Bridge) การทำกาลักน้ำข้ามหุบเขา (Siphon) และการเจาะทะลุภูเขา (Tunnel) งานก่อสร้างทั้งสามวิธีนั้นจะเป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาต่อเนื่องจากยุคกรีก วิศวกรชาวโรมันใช้วัสดุก่อสร้างที่เป็นก้อนขนาดย่อมกว่าสมัยกรีกทำให้สามารถขนส่งได้ง่าย รวมถึงสามารถยกประกอบได้ง่ายกว่าก้อนขนาดใหญ่ ระบบการถ่ายแรงในโครงสร้างโค้ง (Arch) ทำให้สามารถลด

ปริมาณวัสดุไปได้มาก น้ำหนักรวมของโครงสร้างเบาขึ้น รวมถึงการค้นพบคอนกรีต ที่สามารถเชื่อมต่อประสานวัสดุต่างๆ ให้มีความแข็งแรง การคิดค้นวัตถุพิเศษต่างๆ สำหรับใช้ในการก่อสร้าง เช่น ท่อดินเผา หรือท่อดินเผา ในหนังสือของวิทรูเวียส ได้กล่าวถึงขนาดของท่อดินเผา ว่าความยาวท่อควรมีอย่างน้อยสิบฟุต และเรียกขนาดของท่อตามน้ำหนักที่นำมาใช้ทำท่อนั้น เช่น ขนาดท่อห้าสิบ “Fifty” ได้มาจากแผ่นดินเผากว้าง 50 หน่วยน้ำหนัก 600 ปอนด์ หรือท่อขนาดแปดสิบ “Eighty” มีน้ำหนัก 960 ปอนด์เป็นต้น ท่อดินเผาสามารถทนแรงดันของน้ำได้มาก งานก่อสร้างท่อส่งน้ำนั้นมีการวางผังหรือแนวของการขนส่งน้ำ โดยที่การลาดเอียงจะอยู่ประมาณ $\frac{1}{4}$ นิ้วทุกระยะทาง 100 ฟุต และมีบ่อเก็บน้ำ (Reservoir) เป็นช่วงๆ น้ำจากต้นน้ำเมื่อต้องข้ามหุบเขา วิศวกรโรมันจะสร้างสะพานเพื่อให้ข้ามหุบเขาได้ การใช้ช่องโค้ง (Roman Arch) จะช่วยในการลดน้ำหนักของโครงสร้าง รวมถึงลดแรงลมที่มาปะทะทางส่งน้ำนี้ด้วย การก่อสร้างจะกำหนดช่วงเสาโครงสร้างหลักและความสูงของทางส่ง และในส่วนช่องโค้ง จะวางไม้แบบเพื่อรองรับอิฐแต่ละก้อน จนถึงก้อนตรงกลาง (Key Stone) จากนั้นน้ำหนักของโครงสร้างจะกระจายตามแนวโค้งลงมาโดยสามารถถอดแบบโครงสร้างไม้ที่รองรับออกได้ และหินแต่ละก้อนก็สามารถทำงานตามหน้าที่ของมันโดยไม่หล่นลงมา



รูปที่ 2 เครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจ (Survey Tools) จากซ้าย Groma, Dioptra, และ Chorabates
ที่มา: (<http://roma.andreapollett.com>)

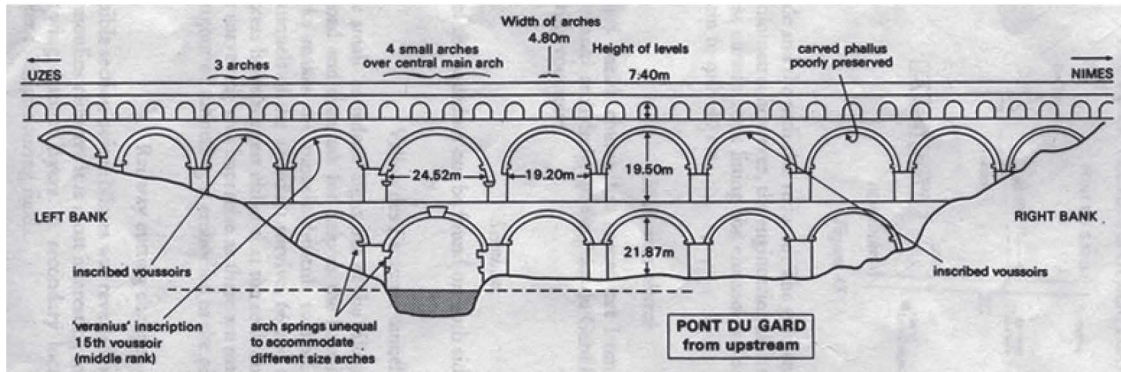


รูปที่ 3 รูปแบบโครงสร้างทางส่งน้ำทั้งสามแบบ
ที่มา: (www.Waterhistory.org)

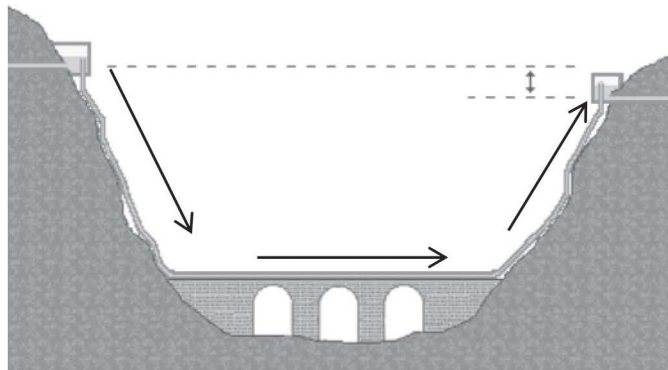


รูปที่ 4 สะพาน พอน ดู กาด (Pont Du Gard) การก่อสร้าง สะพานส่งน้ำข้ามช่องเขา โครงสร้างแนวโค้ง Roman arch มีความกว้างเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.2 เมตร ถึงส่วนที่กว้างที่สุด ถึง 24.52 เมตร

ที่มา: (geodepress.com. & imgarcade.com)



ในกรณีที่มีช่องเขา ที่ไม่สามารถสร้างสะพานข้ามได้ การนำน้ำจะใช้วิธีการจัดทำระบบกัลกน้ำ (Siphon) เป็นความรู้ ในการควบคุมน้ำที่ใช้ระดับที่แตกต่างกันของน้ำทำให้เกิดแรงดันตามธรรมชาติของน้ำที่จะหาระดับของตัวมันเองในการก่อสร้างนั้น จะใช้ใช้บ่อพักน้ำที่อยู่ต้นทางให้มีระดับสูงกว่าบ่อพักด้านตรงข้าม ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ระบบกัลกน้ำ (Siphon) ข้ามช่องเขา น้ำจากฝั่งซ้ายมือ ถูกส่งผ่านท่อลงมาถึงสะพาน และจะยกระดับด้วยแรงดันของ ตัวเองไปสู่ระดับน้ำ ด้านขวามือ

ที่มา: (gradyancientpracticesttosavewater.blogspot.com)

ระบบโครงสร้างแบบถ้ำ (Tunnel) เป็นการจัดการที่ง่ายที่สุดของโครงสร้าง การขุดทะลุพื้นดิน เจาะภูเขาต่างๆ โดยใช้ เครื่องมือ แต่ความยากของการขุดคือการจัดการเรื่องแนวของทางส่งน้ำ ที่จะให้ได้ตรงตามที่ต้องการ รวมถึงความลาดเอียง ที่เหมาะสมเพื่อให้ไหลได้อย่างต่อเนื่อง อีกทั้งเรื่องของการบำรุงรักษาให้สามารถใช้งานได้ ชาวโรมันจึงสร้างช่อง ในแนวโค้ง

(Shaft) เป็นช่วงๆ เพื่อให้สามารถเข้าไปดูแลรักษาทางส่งน้ำได้ตลอดเวลา ทางส่งน้ำใต้ดินบางช่วงจะกรุพื้นและผนังให้มีความเรียบเพื่อให้น้ำไหลได้อย่างสะดวกจำนวนระยะทาง และปริมาณน้ำของกรุงโรมนั้นคาดว่าจะมีมาก งานวิจัยชิ้นล่าสุดเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558 ของศาสตราจารย์ Bruce Fouke จาก Carl R. Woese Institute for Genomic Biology University of Illinois at Urbana Champaign ได้ศึกษาจากการสะสมตะกอนของหิน (Limestone) พบว่าอัตราไหลของน้ำอยู่ที่ 1.4 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือ 120,960 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งเป็นปริมาณที่คาดการณ์แตกต่างจากที่เคยศึกษาไว้ก่อนหน้านี้ อย่างไรก็ตาม ปริมาณของน้ำสะอาดที่ส่งมาถึงกรุงโรมก็เป็นเหตุผลหลักที่ทำให้ประชากรสามารถเพิ่มจาก 600,000 คน ขึ้นไปถึงหนึ่งล้านคนในช่วงศตวรรษที่หนึ่ง



รูปที่ 6 ภาพถ่ายภายในถ้ำที่อยู่บริเวณใต้กรุงโรม
ที่มา: (ancientexplorers.com)



รูปที่ 7 น้ำพุทรีวิ (Trevi Fountain) ในกรุงโรมที่ยังมีน้ำธรรมชาติไหลจนถึงปัจจุบัน
ที่มา: (www.upi.com)

4. บทสรุป

การจัดการน้ำ เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการดำรงชีวิต สิ่งที่ถูกเรียบเรียงไว้ใน The ten Books on Architecture ว่า "ปัจจัยสำคัญสำหรับสิ่งมีชีวิตคืออากาศ ไฟ ดิน และน้ำ" ในการเป็นสถาปนิก ความรู้พื้นฐานเป็นสิ่งจำเป็น และประเด็นของการออกแบบสำหรับการดำรงชีวิต สามารถศึกษาได้จากประวัติศาสตร์และนำมาปรับใช้ให้เหมาะสมกับบริบทและวัฒนธรรม บทความทางวิชาการนี้ เขียนเพื่อให้นักศึกษาสถาปัตยกรรมและผู้อ่านใจ ได้รับทราบข้อมูลของงานระบบทางวิศวกรรมของการจัดการน้ำในยุครอมน ที่สามารถใช้ความเข้าใจพื้นฐานในธรรมชาติของการไหล จากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ (รวมถึงแรงดันน้ำ) นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ การดึงน้ำจากธรรมชาติบนภูเขาเข้ามาสู่เมืองด้วยระยะทางกว่า 80 กิโลเมตรบนโครงสร้างสะพานส่งน้ำนั้นไม่ใช่เรื่องง่าย ผู้ปกครองของโรมันเล็งเห็นความสำคัญของน้ำเพื่อการเจริญเติบโตของประชากร การเติบโตของเมืองเป็นมิติทางวัฒนธรรมในยุคที่ปริมาณประชากรมีความสำคัญ การสร้างอาณาจักรจำเป็นต้องใช้คน โรมันได้ตระหนักเรื่องนี้เป็นสิ่งที่ชาวโรมันได้สร้างไว้ ณ กรุงโรม ทำให้เห็นถึงวิวัฒนาการทางงานวิศวกรรมและสถาปัตยกรรมที่ยิ่งใหญ่ ความสามารถในการบังคับธรรมชาติเพื่อตอบสนองความต้องการของการอุปโภคบริโภคของมนุษย์ ความเข้าใจในธรรมชาติของน้ำที่ไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำและมีแรงดันน้ำที่นำมาใช้เป็นพลังงาน ทำให้เกิดน้ำพุ ละอองน้ำได้นับว่าเป็นวิวัฒนาการที่ก้าวหน้าซึ่งก่อนยุคปฏิวัติอุตสาหกรรม การที่มีน้ำพุขนาดใหญ่กลางเมืองโดยที่ไม่ใช้กระแสไฟฟ้าหรือปั๊มน้ำนั้นเป็นสิ่งที่คนในปัจจุบันยังไม่สามารถจินตนาการได้ นักท่องเที่ยวที่ไม่ทราบข้อมูลได้แต่พรั่นพรึงว่า กรุงโรมทำไมไม่ใช้น้ำเป็ลลิ่งและเปิดน้ำทิ้งที่น้ำพุต่างๆ ตลอดเวลา

การจัดการน้ำในสมัยโรมันนั้นแตกต่างจากการจัดการน้ำของอารยธรรมทางเอเชีย ตัวอย่าง ประเทศไทยด้วยพื้นที่ลุ่มและมีธรรมชาติของน้ำหลาก ทำให้การใช้คูคลองในการจัดการน้ำนั้นเป็นวิธีการที่เหมาะสมกับบริบทแบบไทยๆ รวมถึงสถาปัตยกรรมที่มีได้สูง แต่สิ่งที่เกิดขึ้นกับกรุงเทพฯ หรือเมืองใหญ่ๆ ที่เป็นมหานคร (Mega City) เช่นในปัจจุบัน (พ.ศ. 2558) คูคลองถูกถมเป็นถนนจนหมดสิ้น การบริหารจัดการน้ำที่ไม่มีประสิทธิภาพ ยังมีทั้งภัยจากน้ำท่วมใหญ่ และภัยแล้ง ทั้งๆ ที่มีวิวัฒนาการ มีเทคโนโลยีขั้นสูง กลับหลงลืมพื้นฐานในการจัดการน้ำ ดังนั้นในฐานะสถาปนิกและนักออกแบบควรจะต้องตระหนักถึงเรื่อง "น้ำ" ที่เป็นปัจจัยพื้นฐานในการดำรงชีวิต

เอกสารอ้างอิง

- คุณากร วาณิชยวิรุฬห์ (แปล), ย้อนรอยอารยธรรมกรีก-โรมัน, เนชั่นเนล จีโอกราฟฟิก กรุงเทพฯ, 2550
- สุเมธ ชุมสาย ณ อยุธยา, น้ำ บ่อเกิดแห่งวัฒนธรรมไทย, บ.สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช กรุงเทพฯ, 2529
- Gilbert Picard, **Living Architecture Roma**, Oldbourne Book Co.Ltd. London 1965
- Morris Hicky Morgan (translated) **Marcus Vitruvius Polio The ten books on Architecture** Dover Publication inc. New York 1960
- Kenneth D. Matthews, **Roman Aqueducts, Technical Aspects of their Construction**, Expedition Fall 1970, www.aqueducthunter.com, Accessed June 12, 2015
- Roger D. Hansen, **Water and Wastewater Systems in Imperial Rome**, www.waterhistory.org., Accessed June 5, 2015
- Raffaele Fabretti, **Aqueduct Hunting in tsh Seventeen Century**, <http://www.press.umich.edu>, The University of Michigan Press, Accessed May 10, 2015
- Underground Tunnel** by the Archaeological Institute of America Film @ 2012, archive.archaeology.org/1203/features/rome_aqueduct.video.html, Accessed April 22, 2015