

Academic Article

การประยุกต์ใช้โปรแกรม R สำหรับการแสดงผลด้านภูมิสารสนเทศ

Application of R programming for the geoinformatic display

ธวัชชัย นาอูดม^{1*}

Tawatchai Na-U-Dom^{1*}

¹คณะวิทยาศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้ว อำเภอวัฒนานคร จังหวัดสระแก้ว 27160

¹Faculty of Science and Social Science, Burapha University Sakaeo Campus, Watthana Nakorn, Sakaeo 27160

*E-mail: tawatchai.na@buu.ac.th

Received: 21/06/2018; Accepted: 26/10/2018

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันศาสตร์ทางด้านภูมิสารสนเทศได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากต่องานวิจัยในสาขาต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ซึ่งต้องใช้ซอฟต์แวร์ด้านภูมิสารสนเทศที่มีประสิทธิภาพในการแสดงผลข้อมูลซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญในการวิจัยและวางแผนด้านการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมทั้งในเชิงเวลาและพื้นที่ โดยนอกเหนือจากซอฟต์แวร์ลิขสิทธิ์ที่มีราคาแพง โปรแกรม R จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในประยุกต์ใช้เพื่อแสดงผลข้อมูลด้านภูมิสารสนเทศ เนื่องจากเป็น โปรแกรม โอเพนซอร์ซ (open source) ที่ใช้งานฟรี อีกทั้งยังมีแพ็คเกจด้านการแสดงผลข้อมูลภูมิสารสนเทศที่หลากหลาย จึงทำให้โปรแกรม R ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในการแสดงผลข้อมูลด้านภูมิสารสนเทศ

คำสำคัญ: โปรแกรม R , การแสดงผลข้อมูล , ภูมิสารสนเทศ

Abstract

Nowadays, geoinformatic science has played an important role in current research, especially natural resource and environmental management. The high efficiency geoinformatic software is important to display the geoinformatic data, which is vital for researches and the effective natural resource and environmental management in both temporal and spatial analysis. Beside the copyrighted and expensive geoinformatic software, R may be a good choice for display the geoinformatic data. In addition, R is copyrighted, but it is open source,

free to use and provide in number of geoinformatic packages. Thus, R is widely applied to display geoinformatic data.

Keywords: R programming, display, geoinformatic science

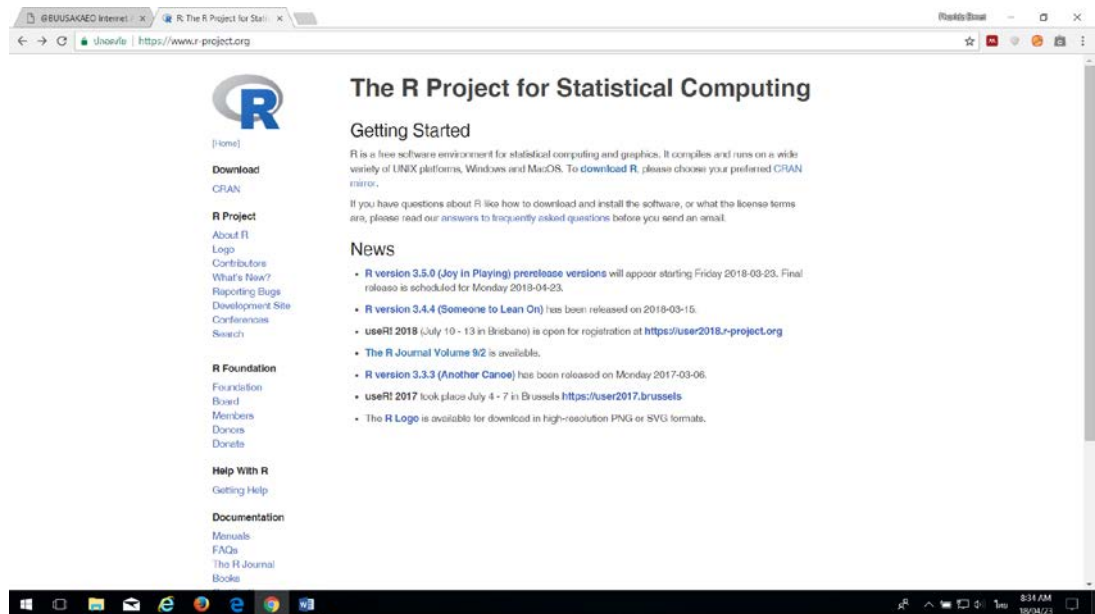
บทนำ

ภาษา R เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาและเผยแพร่โดย GNU project ภายใต้ GNU General Public License ซึ่งสามารถใช้งานได้ทั้งในระบบปฏิบัติการ Windows Mac Os และ Unix (Khoomsab, 2016; Paradis, 2005) โดยในระดับนานาชาติ มูลนิธิ R เพื่อการคำนวณทางสถิติ (R foundation for statistical computing) จะทำหน้าที่จัดการประชุมเพื่อรายงานความก้าวหน้าและการพัฒนาโปรแกรม R โดยในประเทศไทยนั้น มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ เป็นแหล่งคู่สำเนา (mirror) ที่ให้บริการด้านการดาวน์โหลด (download) โปรแกรม R และแพ็คเกจ (package) ต่าง ๆ สำหรับโปรแกรม R เพื่อให้ผู้ใช้งานที่อยู่ในประเทศไทยสามารถเรียกใช้งานได้อย่างรวดเร็ว โดยในปัจจุบัน โปรแกรม R มีแพ็คเกจหลายตัวพัฒนาขึ้นเพื่อใช้งานในด้านภูมิสารสนเทศ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง เช่น สมุทรศาสตร์ (Kelley et al., 2018) อุดุนิยมวิทยา (Guijarro, 2016) ภูมิสารสนเทศ และสถิติเชิงพื้นที่ (Hijmans, 2017; Pebesma et al., 2018; Na-U-Dom et al., 2017) เป็นต้น

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแนะนำการใช้โปรแกรม R ขึ้นพื้นฐานสำหรับการแสดงผลข้อมูลทางภูมิสารสนเทศเพื่อใช้ในการแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่ โดยมีการนำเสนอตั้งแต่การใช้โปรแกรม R เบื้องต้น โปรแกรม R กับแพ็คเกจด้านสารสนเทศภูมิสารสนเทศ และโปรแกรม R สำหรับการแสดงผลข้อมูลด้านภูมิสารสนเทศ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประกอบการแสดงผลข้อมูลภูมิสารสนเทศที่สวยงามสำหรับนำเสนอข้อมูล หรือใช้ในการนำในงานวิจัย นอกจากนี้ยังเป็นพื้นฐานที่สำคัญในการต่อยอดด้านการใช้โปรแกรม R ให้เกิดประโยชน์ด้านการวิเคราะห์และแสดงผลข้อมูลภูมิสารสนเทศ ซึ่งมีจุดเด่นที่ไม่มีค่าใช้จ่ายในเรื่องของลิขสิทธิ์และยังสามารถปรับปรุงแก้ไขรหัสต้นฉบับ (source code) ให้เข้ากับวัตถุประสงค์ของผู้ใช้ได้อีกด้วย

โปรแกรม R เบื้องต้น

โปรแกรม R รุ่น (version) 3.5.0 (R Core Team, 2018) หรือรุ่นก่อนหน้านี้อาจสามารถดาวน์โหลดได้จาก <https://www.r-project.org> (รูปที่ 1) จากนั้นจึงเลือกดาวน์โหลด โดยเลือกจากคู่สำเนาดาวน์โหลดในประเทศไทย (<http://mirrors.psu.ac.th/pub/cran>) ที่จัดทำโดย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จากนั้นจึงดาวน์โหลดโปรแกรม R ซึ่งมีบริการระบบปฏิบัติการ Windows Mac Os และ Unix แล้วจึงทำการติดตั้ง (install) ลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้

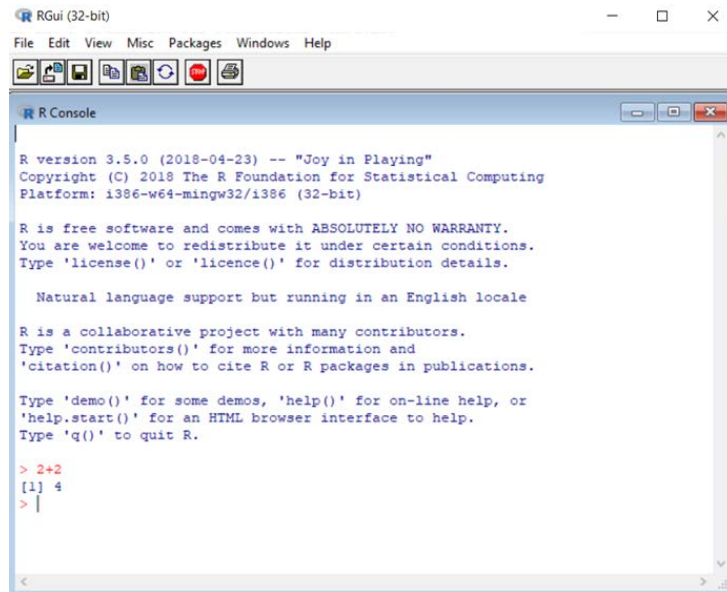


รูปที่ 1. หน้าต่างของ <https://www.r-project.org>

เมื่อต้องการเปิดโปรแกรม R ให้ดับเบิลคลิก (double click) ที่สัญลักษณ์ (icon) R ในโฟลเดอร์ (folder) ที่ผู้ใช้ได้ติดตั้งโปรแกรมไว้ จากนั้นหน้าต่างของโปรแกรม R (R console) จะปรากฏดังรูปที่ 2 โดยประกอบด้วยเมนูต่างๆ เช่น File, Edit, Misc, Packages, Window และ Help โดยเมื่อสัญลักษณ์ > (prompt) ปรากฏ แสดงว่าโปรแกรม R พร้อมทั้งจะทำงานและรับคำสั่งจากผู้ใช้งาน (Jansakul, 2009) อย่างไรก็ตาม โปรแกรม R จะรับคำสั่งและแสดงผลเป็นภาษาอังกฤษเท่านั้น โดยมีข้อควรระวังที่ระบุไว้ใน R Console ความว่า “R is free software and comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY.” ซึ่งหมายถึง โปรแกรม R เป็นซอฟต์แวร์ (software) ที่ไม่มีค่าใช้จ่าย และไม่รับประกันข้อผิดพลาดจากระบบของโปรแกรม เช่น อาการค้าง (hang) และการหยุดทำงานของซอฟต์แวร์ ทำให้ข้อมูลที่ทำไว้นั้นสูญหายหรือเกิดความเสียหาย ซึ่งข้อควรระวังดังกล่าวนี้เกิดขึ้นได้กับซอฟต์แวร์ทั่ว ๆ ไป โดยเฉพาะ R เท่านั้น (Khoomsab, 2016)

โปรแกรม R แสดงผลการคำนวณทางคณิตศาสตร์ได้ โดยใช้คำสั่ง บวก (+) ลบ (-) คูณ (*) และหาร (/) ด้วยการพิมพ์คำสั่งที่สัญลักษณ์ > ใน R console เช่น 2+2 จากนั้นจึงกดปุ่มป้อนเข้า (enter) ที่แผงแป้นอักขระ (keyboard) เพื่อทำการประมวลผลคำสั่งและได้ผลลัพธ์ออกมา (= 4) ดังรูปที่ 2 นอกจากนี้ผู้ใช้ยังสามารถขอความช่วยเหลือออนไลน์ (online help) ในกรณีที่ไม่ทราบวากยสัมพันธ์ (syntax) ของคำสั่งต่าง ๆ โดยการพิมพ์คำสั่ง ? ตามด้วยฟังก์ชัน (function) ที่จะขอความช่วยเหลือ หรือพิมพ์ help (ฟังก์ชันที่จะขอความช่วยเหลือ) ที่สัญลักษณ์ >

ใน R console ตัวอย่างเช่น ?lm หรือ help(lm) เป็นการค้นหาคำอธิบายและตัวอย่างการใช้ของฟังก์ชัน lm ซึ่งเป็นฟังก์ชันในการวิเคราะห์สมการเชิงเส้น เป็นต้น โดยโปรแกรม R สามารถเรียกดูคำสั่งเก่าได้โดยกดลูกศรขึ้นลงที่เป็นพิมพ์ นอกจากนี้ยังเพิ่มหมายเหตุ (comment) โดยใช้สัญลักษณ์ # (number sign) ซึ่งโปรแกรม R จะไม่ประมวลผลคำสั่งหลังสัญลักษณ์ #



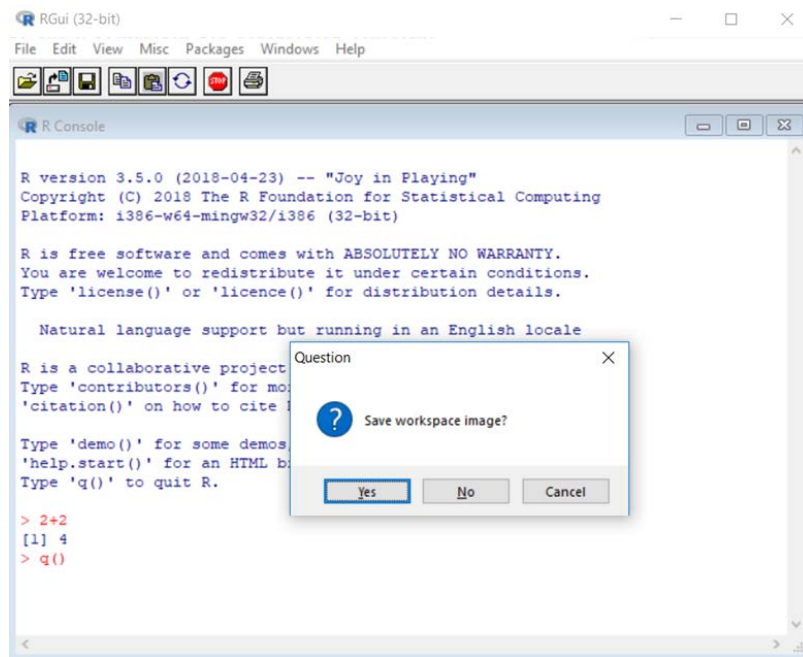
รูปที่ 2. หน้าต่างและตัวอย่างการแสดงผลการคำนวณใน R console

การออกจากโปรแกรม R สามารถทำได้โดยการพิมพ์คำสั่ง q() จากนั้นจะมีหน้าต่างปรากฏขึ้นเพื่อถามผู้ใช้งานว่าต้องการบันทึกข้อมูล (save) ที่ทำไว้หรือไม่ก่อนออกจากโปรแกรมดังรูปที่ 3 โดยหากตอบ yes แล้วโปรแกรม R จะบันทึกสิ่งที่สร้างขึ้นในรูปของ .Rdata ไว้ในสารบบการทำงาน (working directory) โดยสามารถตรวจสอบสารบบการทำงานของโปรแกรม R ได้ด้วยคำสั่ง getwd() และผู้ใช้สามารถระบุสารบบการทำงานของโปรแกรมได้ด้วยคำสั่ง setwd(“ที่อยู่ของสารบบใหม่ที่ผู้ใช้กำหนด”) โดยที่การระบุและกำหนดชื่อ โฟลเดอร์ของสารบบการทำงานต้องเป็นภาษาอังกฤษเท่านั้น

โปรแกรม R กับเทคโนโลยีด้านภูมิสารสนเทศ

ภูมิสารสนเทศเป็นศาสตร์ที่เน้นการบูรณาการทางการสำรวจ จัดทำแผนที่ และการแสดงผลเชิงพื้นที่เข้าด้วยกัน อันประกอบไปด้วย การสำรวจข้อมูลระยะไกล (remote sensing) ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (geographic information system) และ ระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (global positioning system) เพื่อ

ประยุกต์ใช้ในงานด้านต่าง ๆ (Geo-Informatics and Space Technology Development Agency & Remote Sensing and Geographic Information System Association of Thailand, 2009) ข้อมูลด้านภูมิสารสนเทศแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ 1) ข้อมูลแบบเวกเตอร์ (vector data structure) ซึ่งจะประกอบด้วยจุด (points) เส้น (lines) และรูปหลายเหลี่ยม (polygons) และ 2) ข้อมูลแบบแรสเตอร์ (raster data structure) เป็นการจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบของจุดภาพ (pixels) ที่เรียงต่อเนื่องกันไปตามแถวแนวดิ่งและแนวนอน (Department of Marine and Coastal Resources, 2015) โดยโปรแกรม R มีความสามารถในการแสดงผลด้านภูมิสารสนเทศ ตัวอย่างเช่น การแสดงผลการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และเชิงเวลาของค่า NDVI (normalized different vegetation index) และสภาพภูมิอากาศในเขตลุ่มน้ำโขง (Na-U-Dom et al., 2017) เป็นต้น โดยไม่ต้องพึ่งพาซอฟต์แวร์ลิขสิทธิ์ และขาดความยืดหยุ่นในการทำงาน ที่ผ่านมา การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ การวิเคราะห์แนวโน้ม และความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเชิงพื้นที่นั้น ส่วนใหญ่ต้องซื้อแพ็คเกจเสริมที่มีราคาแพง ซึ่งอาจเป็นข้อจำกัดสำหรับการใช้เพื่อการศึกษาสำหรับนักศึกษาและผู้สนใจ



รูปที่ 3. การออกจากโปรแกรม R และการบันทึกการทำงานเข้าสู่ระบบ

สำหรับการดาวน์โหลดและติดตั้งแพ็คเกจด้านภูมิสารสนเทศ ผู้ใช้สามารถดาวน์โหลดแพ็คเกจได้ 2 วิธี คือ 1) ดาวน์โหลดจากฟังก์ชัน `install.packages()` (“ชื่อแพ็คเกจที่ต้องการติดตั้ง”) เช่น `install.packages(“raster”)` หรือ

2) เลือกเมนู Packages เลือก Install package(s) จากนั้นจะเข้าสู่หน้าต่าง secure CRAN mirror เลือก Thailand คลิก ok แล้วจึงเลือกแพ็คเกจที่จะติดตั้ง (เช่น raster) จากนั้นคลิก ok เป็นการเสร็จสิ้นกระบวนการติดตั้งแพ็คเกจ บทความนี้จะนำเสนอการใช้แพ็คเกจด้านภูมิสารสนเทศ 3 แพ็คเกจในการแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่ ได้แก่ แพ็คเกจ raster sp และ prettymapr

1. แพ็คเกจ raster

แพ็คเกจ raster เป็นแพ็คเกจที่มีฟังก์ชันในการสร้าง อ่าน จัดการ และเขียนข้อมูลแรสเตอร์ การจัดการข้อมูลแรสเตอร์โดยใช้แพ็คเกจ raster เช่น การอ่านกลุ่มของไฟล์แรสเตอร์ รวมถึงการแสดงผลไฟล์แรสเตอร์ ซึ่งมีตัวอย่างการใช้งานดังนี้ (Hijmans, 2017)

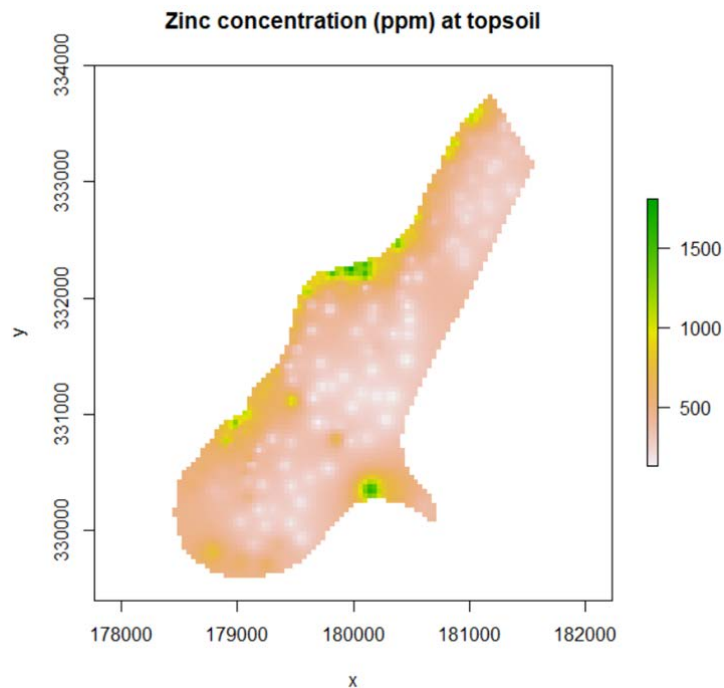
```
> Install.packages("raster") #ดาวน์โหลดและติดตั้งแพ็คเกจ raster
> library(raster) #เรียกแพ็คเกจ raster ขึ้นมาใช้งาน
> filename <- system.file("external/test.grd",package="raster") #เรียกตัวอย่างไฟล์จากแพ็คเกจ raster
>
> #แสดงถึงปริมาณความเข้มข้นของสังกะสี
>
> #ในดินบริเวณแม่น้ำเมิซ (Meuse River)
>
> #ประเทศฝรั่งเศส (Hijmans, 2017)
># หากผู้ใช้ต้องการเรียกไฟล์แรสเตอร์ส่วนตัวจากเครื่องคอมพิวเตอร์ ให้ใช้คำสั่ง raster ตัวอย่างเช่น
>#userdata <- raster("ที่อยู่ไฟล์แรสเตอร์ที่ผู้ใช้กำหนด/ไฟล์แรสเตอร์.tif")
> ZincC<-raster(filename) #เปลี่ยน grid file (.grd) ให้อยู่ในรูปของ RasterLayer (ในตัวแปรที่ชื่อ ZincC)
> #พล็อต (Plot) ไฟล์แรสเตอร์ตัวอย่างดังรูปที่ 4
> plot(ZincC,main="Zinc concentration (ppm) at topsoil",xlab="x",ylab="y")
```

2. แพ็คเกจ sp

แพ็คเกจ sp (Pebesma et al., 2018) เป็นแพ็คเกจที่ใช้จัดการกับระบบฐานข้อมูลเชิงพื้นที่แบบเวกเตอร์ซึ่งประกอบไปด้วย ข้อมูลแบบจุด เช่น ที่ตั้งของครัวเรือน หมู่บ้านเป็นต้น ข้อมูลแบบเส้น เช่น ถนน แม่น้ำ เป็นต้น และรูปหลายเหลี่ยม เช่น พื้นที่จังหวัด ขอบเขตพื้นที่ป่า เป็นต้น โดยข้อมูลในแพ็คเกจ sp จะได้เป็น SpatialPoints(DataFrame) SpatialLines(DataFrame) และSpatialPolygons(DataFrame) ซึ่งมีตัวอย่างการใช้งานดังนี้

```
> Install.packages("sp") #ดาวน์โหลดและติดตั้งแพ็คเกจ sp
> library(sp) #เรียกแพ็คเกจ sp ขึ้นมาใช้งาน
> data(meuse) #เรียกข้อมูลตัวอย่างจากแพ็คเกจ sp
> coordinates(meuse)~x+y #กำหนดจุดระบบพิกัดให้กับข้อมูล (ดูวากยสัมพันธ์ได้จาก ?coordinates)
```

```
> data(meuse.riv) #เรียกข้อมูลแม่น้ำเมิซ  
> # ระบุข้อมูลแม่น้ำเมิซ ให้อยู่ในรูปของ SpatialPolygons (ในตัวแปรที่ชื่อ meuse.sr)  
> meuse.sr = SpatialPolygons(list(Polygons(list(Polygon(meuse.riv)),"meuse.riv")))  
> plot(meuse.sr, axes=TRUE,col="darkblue") #พล็อตแม่น้ำเมิซ (รูปที่ 5)
```



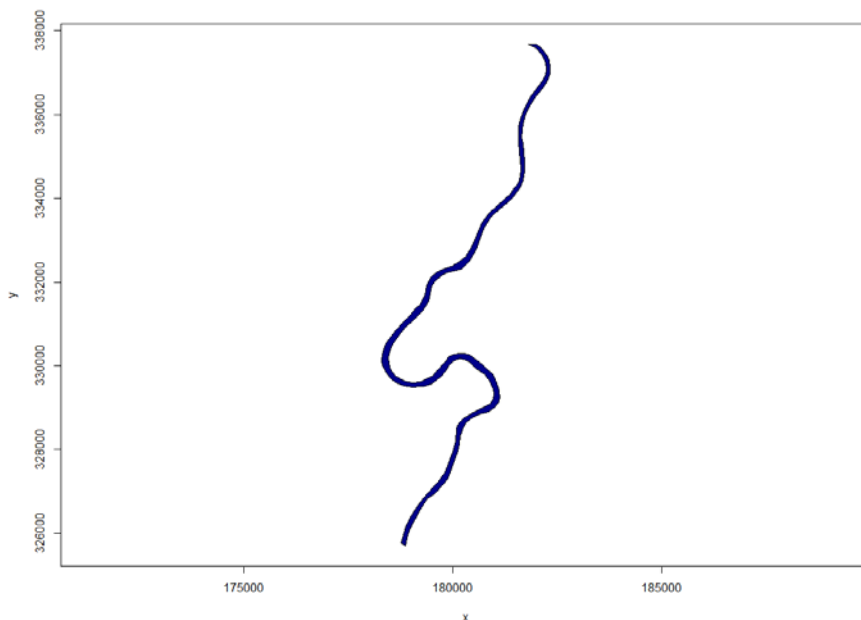
รูปที่ 4. ตัวอย่างการพล็อตไฟล์แรสเตอร์ด้วยแพ็คเกจ raster

3. แพ็คเกจ *prettymapr* (Dunnington, 2017)

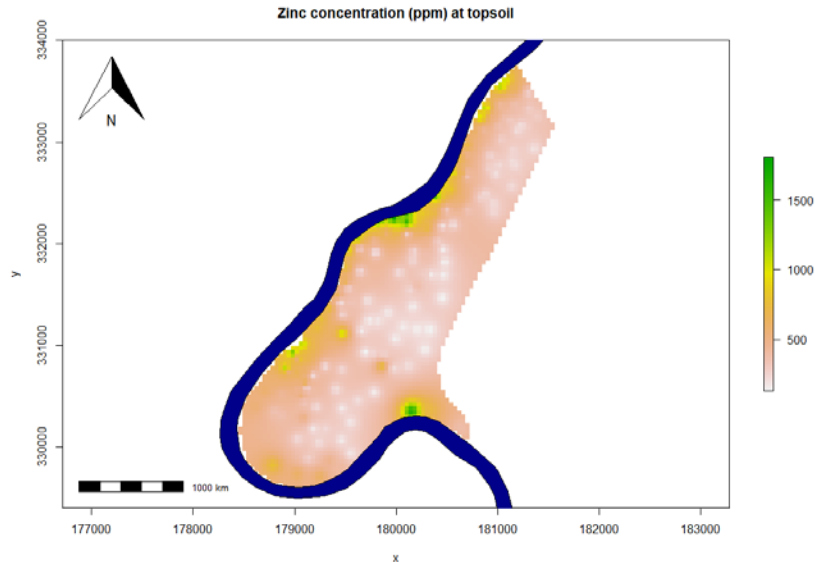
เป็นแพ็คเกจที่ใช้ในการพล็อตลูกศรทิศเหนือและมาตราส่วนแผนที่ รวมถึงการสร้างกราฟิก (graphic) ด้านภูมิสารสนเทศอื่น ๆ ซึ่งมีคำสั่งการใช้งานที่ไม่ซับซ้อน โดยในหัวข้อนี้ จะใช้ข้อมูลจาก แพ็คเกจ raster และ sp ร่วมด้วย (รูปที่ 6) เพื่อให้ผู้ใช้สามารถนำไปปรับและประยุกต์ใช้กับการแสดงผลด้านภูมิสารสนเทศของผู้ใช้ได้เหมาะสม

```
> Install.packages("prettymapr") #ดาวน์โหลดและติดตั้งแพ็คเกจ prettymapr  
> library(raster)  
> library(sp)  
> library(prettymapr) #เรียกแพ็คเกจ prettymapr ขึ้นมาใช้งาน
```

```
> ##### ข้อมูลเรสเตอร์ความเข้มข้นของสังกะสีบริเวณแม่น้ำเม็ชจากแพ็คเกจ raster #####  
> filename <- system.file("external/test.grd",package="raster")  
> ZincC<-raster(filename)  
> ##### ข้อมูลเชิงพื้นที่แม่น้ำเม็ชจากแพ็คเกจ sp #####  
> data(meuse)  
> coordinates(meuse)=~x+y  
> data(meuse.riv)  
> meuse.sr = SpatialPolygons(list(Polygons(list(Polygon(meuse.riv)),"meuse.riv")))  
> ##### แสดงผลข้อมูลความเข้มข้นของสังกะสีบริเวณแม่น้ำเม็ช#####  
> plot(ZincC,main="Zinc concentration (ppm) at topsoil",xlab="x",ylab="y") #แสดงผลข้อมูลเรสเตอร์  
> #####พล็อตซ้อนทับข้อมูลเชิงพื้นที่เข้ากับข้อมูลเรสเตอร์ ด้วยคำสั่ง add=TRUE#####  
> plot(meuse.sr, axes=TRUE,col="darkblue",add=TRUE)  
> ##### พล็อตลูกศรแสดงทิศเหนือและมาตราส่วนแผนที่จากแพ็คเกจ prettymapr#####  
> addnortharrow(pos = "topleft", cols = c("white", "black"),text.col = "black") #พล็อตลูกศรแสดงทิศเหนือ  
> addscalebar(plotunit = "km", label.col = "black", pos = "bottomleft") #พล็อตมาตราส่วนแผนที่
```



รูปที่ 5. เส้นขอบเขตแม่น้ำเม็ชที่ได้จากแพ็คเกจ sp



รูปที่ 6. การแสดงผลด้านภูมิสารสนเทศโดยใช้แพ็คเกจ raster sp และ prettymapr

การอ้างอิงโปรแกรม R

ผู้ใช้สามารถเขียนอ้างอิงโปรแกรม R ในเอกสารอ้างอิงหรือบรรณานุกรมได้ โดยพิมพ์คำสั่ง citation() ที่ R console โดยจะปรากฏข้อความดังรูปที่ 7

```
> citation()

To cite R in publications use:

R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical
computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
URL https://www.R-project.org/.

A BibTeX entry for LaTeX users is

@Manual{
  title = {R: A Language and Environment for Statistical Computing},
  author = {{R Core Team}},
  organization = {R Foundation for Statistical Computing},
  address = {Vienna, Austria},
  year = {2018},
  url = {https://www.R-project.org/},
}

We have invested a lot of time and effort in creating R, please cite it
when using it for data analysis. See also 'citation("pkgname")' for
citing R packages.

> |
```

รูปที่ 7. ตัวอย่างการอ้างอิงโปรแกรม R

สรุป

การใช้โปรแกรม R เพื่อการแสดงผลข้อมูลด้านภูมิสารสนเทศเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับนักวิจัยที่ทำงานด้านการแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่หรือใช้ในการเรียนการสอนวิชาภูมิสารสนเทศ โดยบทความนี้ผู้เขียนได้ทำการแนะนำแพ็คเกจด้านภูมิสารสนเทศจำนวน 3 แพ็คเกจ คือแพ็คเกจ raster, sp และ prettymapr ซึ่งมีการใช้งานฟังก์ชันที่ไม่ซับซ้อน เหมาะสำหรับการเรียนรู้สำหรับผู้เริ่มต้น และใช้เป็นพื้นฐานในการใช้โปรแกรม R เพื่อการแสดงผลด้านภูมิสารสนเทศในขั้นสูงต่อไป

ข้อดีของโปรแกรม R คือเป็นโปรแกรมที่ไม่มีค่าใช้จ่ายและมีแพ็คเกจด้านภูมิสารสนเทศอีกมากมาย เช่น แพ็คเกจ rasterVis และ rgdal เป็นต้น โดยผู้ใช้สามารถเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสมและวัตถุประสงค์ที่หลากหลาย ทำให้โปรแกรม R มีความยืดหยุ่นในการทำงาน อย่างไรก็ตาม โปรแกรม R ก็มีข้อเสียที่สำคัญ คือผู้ใช้ต้องเรียนรู้และเขียนคำสั่งด้วยภาษา R ซึ่งอาจเป็นปัญหาสำหรับผู้เริ่มต้นอยู่บ้าง แต่อย่างไรก็ตาม กลุ่มผู้พัฒนาโปรแกรม R ได้ทำจัดเอกสารการใช้โปรแกรม R และคู่มือการใช้แพ็คเกจต่าง ๆ รวมถึงการขอความช่วยเหลือออนไลน์ในการใช้ฟังก์ชันต่าง ๆ จึงทำให้โปรแกรม R เป็นที่แพร่หลายและนำไปใช้ในการวิจัยเพิ่มมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Department of Marine and Coastal Resources. (2015). *Geo-Informatics of Marine and Coastal Resources* (2nd ed.). Chonburi, Thailand: Pattaya Graphic Print Company Limited.
- Dunnington, D. (2017). *Package "prettymapr"*. Retrived June 18, 2018, from <https://cran.r-project.org/web/packages/prettymapr/prettymapr.pdf>
- Geo-Informatics and Space Technology Development Agency & Remote Sensing and Geographic Information System Association of Thailand. (2009). *Space Technology and Geo-Informatics*. Bangkok, Thailand: Amarin Printing and Publishing Public Company Limited.
- Guijaro, J. A. (2016). *Package "climatol"*. Retrived March 16, 2018, from <https://cran.r-project.org/web/packages/climatol/climatol.pdf>
- Hijmans, R. J. (2017). *Introduction to the "raster" package*. Retrived March 16, 2018, from <https://cran.r-project.org/web/packages/raster/vignettes/Raster.pdf>
- Jansakul, N. (2009). *Experimental Design and Data Analysis with R*. Bangkok: Chula Press.
- Kelly, D. (2018). *Pacakge "oce"*. Retrived March 16, 2018, from <https://cran.r project.org/web/packages/oce/oce.pdf>
- Khoomsab, K. (2016). Application of R programming for biological teaching and research. *Thai Journal of Science and Technology*, 24(5), 831-842. doi: 10.14456/tsjt.2016.68

- Na-U-Dom, T., Mo, X., & García, M. (2017). Assessing the climatic effects on vegetation dynamics in the Mekong River Basin. *Environments*. 4(17), 1-15. doi: 10.3390/environments4010017
- Paradis, E. (2005). *R for beginners*. Retrived January 20, 2018, from https://cran.r-project.org/doc/contrib/Paradis-rdebuts_en.pdf
- Pebesma, E., Bivand, R., Rowlingson, B., Gómez-Rubio, V., Hijmans, R., Summer, M. et al. (2018). *Package "sp"*. Retrived March 16, 2018, from <https://cran.r-project.org/web/packages/sp/sp.pdf>
- R Core Team. (2018). *R: A language and environment for statistical computing*. Retrived May 16, 2018, from <http://www.r-project.org/>