

เอ็กซ์เซลสเปรดชีตจำลองการเคลื่อนที่ของน้ำชะขยะในน้ำบาดาล ออกจากหลุมฝังกลบ สำหรับองค์การบริหารส่วนตำบล

กิจการ พรหมมา

EXCEL Spreadsheet to Simulate Leachate Transport in Groundwater from Landfills for Subdistrict Administration Organization Kitchakarn Promma

ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยนเรศวร อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

Department of Natural Resources and Environment,
Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment, Naresuan University,
Maung, Phitsanulok 65000

*Corresponding author. E-mail address: kitpromma@yahoo.com

บทคัดย่อ

องค์การบริหารส่วนตำบลจัดการขยะมูลฝอยของตนเอง หลุมฝังกลบอาจเกิดการรั่วซึมของน้ำชะขยะลงไปในบ่อน้ำบาดาลสะอาด ถ้ามีโปรแกรมจำลองแบบการแพร่กระจายตัวของน้ำชะขยะในน้ำบาดาลฟรี ใช้งานง่าย และได้ผลดีอย่างน้อยสามารถคำนวณความยาวของการแพร่กระจายของน้ำชะขยะได้ถูกต้อง จักช่วยให้ชุมชนจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมเช่นนี้ได้อย่างเข้มแข็ง วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ เพื่อสร้างโปรแกรมจำลองแบบน้ำชะขยะที่แพร่กระจายออกจากแหล่งกำเนิดไปในน้ำบาดาล โดยแปลงคำตอบโดเมนนิโคให้คำนวณความเข้มข้นของตัวชี้วัดมลพิษได้ในเอ็กซ์เซลสเปรดชีต ตัวชี้วัดที่ใช้ คือ คลอไรด์ วิธีทำเริ่มต้นด้วยการนำพจน์ต่าง ๆ ในคำตอบโดเมนนิโคไปใช้เป็นสมมติของเอ็กซ์เซลสเปรดชีต เมื่อคุณกลับค่าของพจน์ต่าง ๆ จะได้ความเข้มข้นสัมพันธ์เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของคลอไรด์ที่แหล่งกำเนิด โปรแกรมวาดกราฟเส้นโดยอัตโนมัติระหว่างความเข้มข้นของคลอไรด์ที่ลดลงที่ระยะน้อยออกจากแหล่งกำเนิดไปตามแนวแกน x จากนั้นโปรแกรมถูกนำไปสาธิตการใช้งานจริงที่หลุมฝังกลบ ตำบลบึงกอก อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก การจำลองแบบทำเพียงชิวช้าๆ และให้ชิวช้าๆ เป็นภาพสะท้อน ผลการสาธิตใช้งานแสดงว่า พลุที่ได้จากการจำลองแบบใกล้เคียงกับค่าจริง แต่อาจมีปัญหาเรื่องข้อจำกัดของข้อมูลนอกสถานที่ฝังกลบขยะ รวมถึงความรู้ของบุคลากรในองค์การบริหารส่วนตำบลที่จำเป็นต้องอธิบายเกี่ยวกับตัวแปร กราฟ คาลิเบรชัน และความน่าเชื่อถือ สรุปว่า วิธีการสร้างโปรแกรมทำง่าย ใช้งานง่าย และฟรี และมีความถูกต้องในการคำนวณความยาวแกนพลุของน้ำชะขยะ

คำสำคัญ: น้ำชะขยะ เอ็กซ์เซลสเปรดชีต แบบจำลองมลพิษ น้ำบาดาล องค์การบริหารส่วนตำบล

Abstract

Subdistrict Administration Organization manages their own solid wastes. Leachate from the wastes can penetrate through landfill liners into clean groundwater. If a contaminant transport model is available for free to simulate the leachate plume, simple to use, and accurate at least for estimating the leachate plume axis, the model can strengthen the community to handle this environmental problem. The objective of this study was to build a program that can simulate

leachate migrated from a source in groundwater by transforming the Domenico solution to be able to calculate concentrations of index contaminants in an EXCEL spreadsheet. The index used in this study was chloride. The study began with assigning terms in the Domenico solution into columns in the spreadsheet. Multiplying terms resulted in chloride concentrations in groundwater in a specific space and time. The program drew automatically a line graph of declining chloride concentrations along the x axis. After that, the program demonstration used data from a landfill in Buengkok, Bang-rakam, Phitsanulok. The simulation was made only on the right side of the plume axis whereas the left side was a reflection. Results show a good match between simulated and field values. However, weakness of the application includes a lack of data outside the property line and weak background knowledge of personels working at the Subdistrict Administration Organization which need explanation on parametering, graph, calibration, and reliability. In conclusion, the program was simple to make and use, available for free, and accurate in estimating the leachate plume length.

Keywords: Leachate, EXCEL Spreadsheet, Contaminant Transport Model, Groundwater, Subdistrict Administration Organization

บทนำ

องค์การบริหารส่วนตำบลในประเทศไทยมีจำนวน 6,746 แห่ง ในแต่ละแห่งต้องจัดการขยะมูลฝอยกันเอง โดยจัดหาหลุมฝังกลบที่ถูกสุขลักษณะ และปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมและประชาชน แต่เนื่องจากงบประมาณจำกัดและเทคโนโลยีการบุฝ้ายางและการบดอัดดินหรือวัสดุรองกันบ่อยังไม่มีคุณภาพดีพอเมื่อขยะอินทรีย์หมักตัวจะเกิดน้ำชะขยะสีดำและมีกลิ่นเหม็น กันบ่อหลุมฝังกลบจึงเกิดการรั่วซึมของน้ำชะขยะลงไปปนเปื้อนน้ำบาดาลข้างใต้หลุมฝังกลบ น้ำชะขยะเหล่านี้สามารถเคลื่อนที่ไปพร้อมกับน้ำบาดาลออกนอกหลุมฝังกลบไปยังข้างใต้ที่ดินข้างเคียงของประชาชน

ที่มาของปัญหาในการวิจัยนี้ คือ บุคลากรในองค์การบริหารส่วนตำบลยังขาดความรู้ความชำนาญในการจำลองแบบการเคลื่อนที่ของน้ำชะขยะในน้ำบาดาลออกจากหลุมฝังกลบ เพราะขาดโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีราคาแพงหลักแสนบาท ต้องจ้างอาจารย์หรือผู้เชี่ยวชาญในโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นฝึกหัดบุคลากรในองค์การบริหารส่วนตำบล เพื่อเรียนรู้วิธีกดปุ่มคำสั่งใช้งานซึ่งออกแบบไว้ใช้เฉพาะกับโปรแกรมนั้นๆ ในขณะที่บุคลากรในองค์การบริหารส่วนตำบลที่ใช้งานคอมพิวเตอร์เป็นแล้ว ส่วนมากใช้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ และมีความรู้ความเข้าใจวิธีการใช้งานเอ็กเซลสเปรดชีต (EXCEL spreadsheet) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่อยู่ในชุดไมโครซอฟท์ออฟฟิซอยู่แล้ว จึงมีโจทย์วิจัยที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่งว่า เป็นไปได้หรือไม่ที่จะสร้างโปรแกรมในเอ็กเซลสเปรดชีต โดยใช้สมการคณิตศาสตร์ที่อธิบายการเคลื่อนที่ของน้ำชะขยะในน้ำบาดาลได้ดีและเป็นที่ยอมรับทางวิชาการสากล เพื่อใช้จำลองแบบการเคลื่อนที่ของน้ำชะขยะในน้ำบาดาลออกจากหลุมฝังกลบ ผลการวิจัยจะช่วยให้บุคลากรในองค์การบริหารส่วนตำบลทดลองใช้งานได้ง่ายและมีประสิทธิภาพ ที่สำคัญคือ ไม่เสียค่าใช้จ่ายในการซื้อโปรแกรมสำเร็จรูปที่มีราคาแพง ไม่ต้องเรียนรู้วิธีใช้งานที่ซับซ้อนเพิ่มเติม และไม่ต้องจ้างผู้เชี่ยวชาญมาสอนหรือทำวิจัยให้กับตน

ปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่กระจายของน้ำชะขยะออกจากหลุมฝังกลบ ได้แก่ ความเร็วการไหลของน้ำบาดาล ความหน่วง ดิสเพอร์ซิวิตี และแหล่งกำเนิด (Domenico, & Schwartz, 1998) การแพร่กระจาย

จะยาวมากขึ้นเมื่อน้ำบาดาลไหลไว ไร้ความหน่วง ดิสเพอร์ซิวิตี้ตามยาวมีค่ามาก และแหล่งกำเนิดมีขนาดใหญ่และปล่อยมลสารต่อเนื่อง

การวิจัยนี้ใช้วิธีจำลองแหล่งกำเนิดน้ำชะขยะแบบระนาบแนวดิ่ง เรียกว่า คำตอบของโดเมนนิโก (Domenico, & Robbins, 1985) ดังนี้

$$C(x,y,z,t) = \left(\frac{C_0}{8} \right) \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{x-vt}{\sqrt{4\alpha_x vt}} \right) \right] \left[\operatorname{erf} \left(\frac{y + \frac{W}{2}}{\sqrt{4\alpha_y vt}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{y - \frac{W}{2}}{\sqrt{4\alpha_y vt}} \right) \right] \left[\operatorname{erf} \left(\frac{z + H}{\sqrt{4\alpha_z vt}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{z - H}{\sqrt{4\alpha_z vt}} \right) \right]$$

โดยที่ $C(x,y,z,t)$ = ความเข้มข้นของมลสาร ณ ตำแหน่ง x, y, z และ t ใดๆ [มก./ล.]
 C_0 = ความเข้มข้นของมลสารที่แหล่งกำเนิด [มก./ล.]
 x, y, z = ระยะทางจากแหล่งกำเนิดในทิศทาง x, y และ z [ม.]
 W = ความกว้างของแหล่งกำเนิด [ม.]
 H = ความหนาของแหล่งกำเนิด [ม.]
 $\alpha_{x,y,z}$ = ดิสเพอร์ซิวิตี้ในทิศทาง x, y และ z [ม.]
 v = ความเร็วการเคลื่อนที่ของน้ำชะขยะ [ม./วัน]
 t = เวลา [วัน]

Srinivasan, et al. (2007) ยืนยันว่า คำตอบโดเมนนิโกให้ผลดีและถูกต้อง เมื่อพิจารณาในแนวแกนพลุม โดยมีเงื่อนไข คือ (1) แอตเวกชันและดิสเพอร์ชันเชิงกลเด่น และ (2) ค่าดิสเพอร์ซิวิตี้ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับระยะทางที่มลพิษเคลื่อนที่ไป น้ำบาดาลไหลอย่างรวดเร็ว และจำลองในช่วงระยะเวลายาวนาน คำตอบโดเมนนิโกได้รับการยอมรับและนำไปใช้วาดพลุมทริเทียม (Fryar, & Domenico, 1989) อีเธอร์ (Tong, & Rong, 2002) คลอไรด์ (Ala, & Domenico, 1992) และใช้ในการเรียนการสอน (Devlin, et al., 2012)

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ เพื่อนำคำตอบโดเมนนิโกไปสร้างเป็นโปรแกรมในเอ็กเซลสเปรดชีต และทดลองประยุกต์ใช้โปรแกรมนั้น ณ หลุมฝังกลบ ตำบลบึงกอก อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก

วิธีการศึกษา

1. การพัฒนาเอกซ์เซลสเปรดชีต เอกซ์เซลสเปรดชีตมี 5 ส่วน ได้แก่ (รูปที่ 1)

1.1 ส่วนการกำหนดค่าพิกัดและตัวแปรทั่วไป เอกซ์เซลสเปรดชีตใช้อักษรตัวพิมพ์เล็ก เพื่อเตือนให้ผู้ใช้ทราบว่า ค่าเหล่านี้เป็นสิ่งที่ต้องกำหนดขึ้น ได้แก่ $x, y, z, t, X, Y, Z, C_0, v, \alpha_x, \alpha_y$ และ α_z

1.2 ส่วนการคำนวณแนวแกน x เอกซ์เซลสเปรดชีตใช้อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ เพื่อแสดงให้ผู้ใช้ทราบว่า ค่าในสมการต่าง ๆ เป็นสิ่งที่ได้จากการคำนวณโดยคอมพิวเตอร์ตามสูตรที่ได้กำหนดไว้ ได้แก่ $x-vt, f(\alpha_x)$, ผลหารระหว่าง $x-vt$ และ $f(\alpha_x)$ และค่าคอมพลิเมนต์เอเรอร์ฟังก์ชันของผลหารดังกล่าว

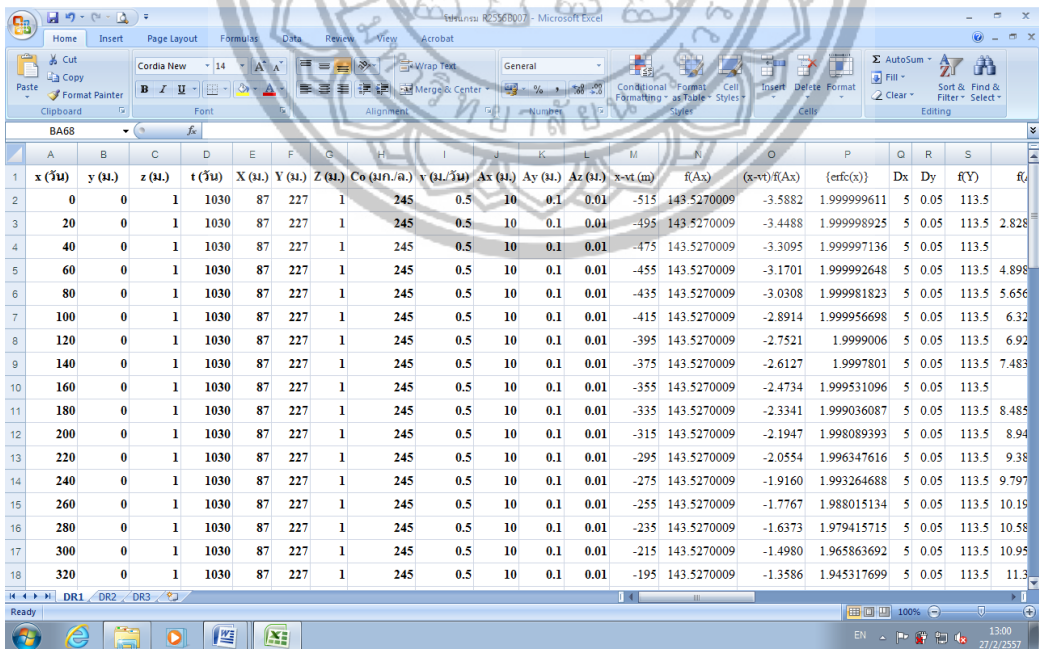
1.3 ส่วนการคำนวณแนวแกน y เอกซ์เซลสเปรดชีตใช้อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ ได้แก่ $D_x, D_y, f(Y), f(\alpha_y), [(y+f(Y))/f(\alpha_y)], [(y-f(Y))/f(\alpha_y)]$, ค่าเอเรอร์ฟังก์ชัน และผลต่าง

1.4 ส่วนการคำนวณแนวแกน z ได้แก่ $f(Z), f(\alpha_z), [(z+f(Z))/f(\alpha_z)], [(z-f(Z))/f(\alpha_z)]$, ค่าเอเรอร์ฟังก์ชัน และผลต่าง

1.5 ส่วนการคำนวณผลลัพธ์และการวาดแผนภูมิ ผลลัพธ์มีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างส่วนต่าง ๆ ในข้อ 1.2-1.4 และความเข้มข้นเริ่มต้น C_0 ทหารด้วย 8 ผลลัพธ์ที่ได้ถูกนำไปวาดกราฟโค้งมลสาร

เมื่อนำความเข้มข้นของคลอไรด์จากกราฟโค้งมลสารในแนวแกน x แต่เปลี่ยนแปลงค่า y และ z อย่างเป็นระบบมาจัดวางใน 2 มิติ จะได้ภาพตัดขวางพุ่มและแผนที่พุ่ม เมื่อรวมภาพตัดขวางพุ่มและแผนที่พุ่มจะได้ภาพ 3 มิติ

(ก)



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
	x (ม.)	y (ม.)	z (ม.)	t (วิน)	X (ม.)	Y (ม.)	Z (ม.)	Co (มก./ล.)	v (ม./วิน)	Ax (ม.)	Ay (ม.)	Az (ม.)	x-vt (ม.)	f(Ax)	(x-vt)/f(Ax)	{erfc(x)}	Dx	Dy	f(Y)
1	0	0	1	1030	87	227	1	245	0.5	10	0.1	0.01	-515	143.5270009	-3.5882	1.999999611	5	0.05	113.5
2	20	0	1	1030	87	227	1	245	0.5	10	0.1	0.01	-495	143.5270009	-3.4488	1.999998925	5	0.05	113.5
3	40	0	1	1030	87	227	1	245	0.5	10	0.1	0.01	-475	143.5270009	-3.3095	1.999997136	5	0.05	113.5
4	60	0	1	1030	87	227	1	245	0.5	10	0.1	0.01	-455	143.5270009	-3.1701	1.999996248	5	0.05	113.5
5	80	0	1	1030	87	227	1	245	0.5	10	0.1	0.01	-435	143.5270009	-3.0308	1.999981823	5	0.05	113.5
6	100	0	1	1030	87	227	1	245	0.5	10	0.1	0.01	-415	143.5270009	-2.8914	1.999956698	5	0.05	113.5
7	120	0	1	1030	87	227	1	245	0.5	10	0.1	0.01	-395	143.5270009	-2.7521	1.9999006	5	0.05	113.5
8	140	0	1	1030	87	227	1	245	0.5	10	0.1	0.01	-375	143.5270009	-2.6127	1.9997801	5	0.05	113.5
9	160	0	1	1030	87	227	1	245	0.5	10	0.1	0.01	-355	143.5270009	-2.4734	1.999531096	5	0.05	113.5
10	180	0	1	1030	87	227	1	245	0.5	10	0.1	0.01	-335	143.5270009	-2.3341	1.999036087	5	0.05	113.5
11	200	0	1	1030	87	227	1	245	0.5	10	0.1	0.01	-315	143.5270009	-2.1947	1.998089393	5	0.05	113.5
12	220	0	1	1030	87	227	1	245	0.5	10	0.1	0.01	-295	143.5270009	-2.0554	1.996347616	5	0.05	113.5
13	240	0	1	1030	87	227	1	245	0.5	10	0.1	0.01	-275	143.5270009	-1.9160	1.993264688	5	0.05	113.5
14	260	0	1	1030	87	227	1	245	0.5	10	0.1	0.01	-255	143.5270009	-1.7767	1.988015134	5	0.05	113.5
15	280	0	1	1030	87	227	1	245	0.5	10	0.1	0.01	-235	143.5270009	-1.6373	1.979415715	5	0.05	113.5
16	300	0	1	1030	87	227	1	245	0.5	10	0.1	0.01	-215	143.5270009	-1.4980	1.965863692	5	0.05	113.5
17	320	0	1	1030	87	227	1	245	0.5	10	0.1	0.01	-195	143.5270009	-1.3586	1.945317699	5	0.05	113.5

(ข)

Tayanna R25568007 - Microsoft Excel

Microsoft Excel interface showing a spreadsheet with columns T, U, V, W, X, Y, Z, AA, AB, and AC. The formulas in the first row are:

- T: $f(Ay)$
- U: $[(y+f(Y))f(Ay)]$
- V: $[(y-f(Y))f(Ay)]$
- W: $\text{erf}[(y+f(Y))f(Ay)]$
- X: $\text{erf}[(y-f(Y))f(Ay)]$
- Y: $\{ \text{erf}[(y+f(Y))f(Ay)] - \text{erf}[(y-f(Y))f(Ay)] \}$
- Z: $f(Z)$
- AA: $f(Az)$
- AB: $[(z+f(Z))f(Az)]$
- AC: $[(z-f(Z))f(Az)]$

The data rows (2-18) show numerical values for these formulas. The values for Z, AA, AB, and AC are consistently 1, 0, #DIV/0!, and #DIV/0! respectively, while the values for T, U, V, W, X, and Y are calculated based on the formulas.

	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	
1	$f(Ay)$	$[(y+f(Y))f(Ay)]$	$[(y-f(Y))f(Ay)]$	$\text{erf}[(y+f(Y))f(Ay)]$	$\text{erf}[(y-f(Y))f(Ay)]$	$\{ \text{erf}[(y+f(Y))f(Ay)] - \text{erf}[(y-f(Y))f(Ay)] \}$	$f(Z)$	$f(Az)$	$[(z+f(Z))f(Az)]$	$[(z-f(Z))f(Az)]$	
2	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	#DIV/0!	
3	2.828427125	40.12830983	-40.12830983	1	-1		2	1	0.894427191	2.2361	0.0000
4	4	28.375	-28.375	1	-1		2	1	1.264911064	1.5811	0.0000
5	4.898979486	23.16809048	-23.16809048	1	-1		2	1	1.549193338	1.2910	0.0000
6	5.656854249	20.06415492	-20.06415492	1	-1		2	1	1.788854382	1.1180	0.0000
7	6.32455532	17.94592572	-17.94592572	1	-1		2	1	2	1.0000	0.0000
8	6.92820323	16.38231389	-16.38231389	1	-1		2	1	2.19089023	0.9129	0.0000
9	7.483314774	15.16707548	-15.16707548	1	-1		2	1	2.366431913	0.8452	0.0000
10	8	14.1875	-14.1875	1	-1		2	1	2.529822128	0.7906	0.0000
11	8.485281374	13.37610328	-13.37610328	1	-1		2	1	2.683281573	0.7454	0.0000
12	8.94427191	12.68968577	-12.68968577	1	-1		2	1	2.828427125	0.7071	0.0000
13	9.38083152	12.09914065	-12.09914065	1	-1		2	1	2.966479395	0.6742	0.0000
14	9.797958971	11.58404524	-11.58404524	1	-1		2	1	3.098386677	0.6455	0.0000
15	10.19803903	11.12959067	-11.12959067	1	-1		2	1	3.224903099	0.6202	0.0000
16	10.58300524	10.72474192	-10.72474192	1	-1		2	1	3.346640106	0.5976	0.0000
17	10.95445115	10.36108505	-10.36108505	1	-1		2	1	3.464101615	0.5774	0.0000
18	11.3137085	10.03207746	-10.03207746	1	-1		2	1	3.577708764	0.5590	0.0000

Ready DR1 DR2 DR3 100% 13:00 27/2/2557

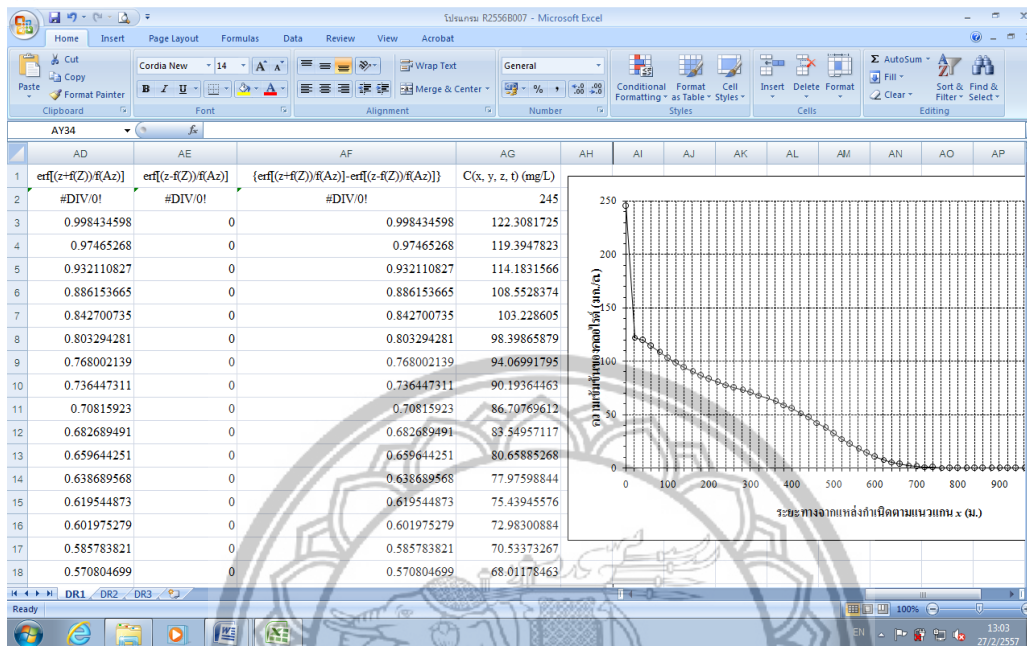
รูปที่ 1 เอ็กซ์เซลสเปรดชีทจำลองการเคลื่อนที่ของน้ำชะขยะในน้ำบาดาลออกจากหลุมฝังกลบ

(ก) สดมภ์ A-S อักษรตัวเข้ม คือ ส่วนที่ผู้ใช้งานต้องกำหนด
อักษรตัวปกติ คือ ส่วนที่โปรแกรมคำนวณ

(ข) สดมภ์ T-AC

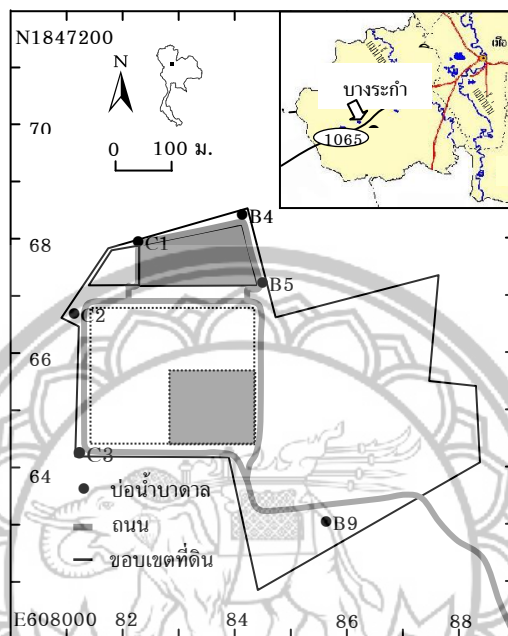
(ค) สดมภ์ AD-AG ที่มีส่วนท้ายเป็นกราฟโค้งมลสาร

(ค)



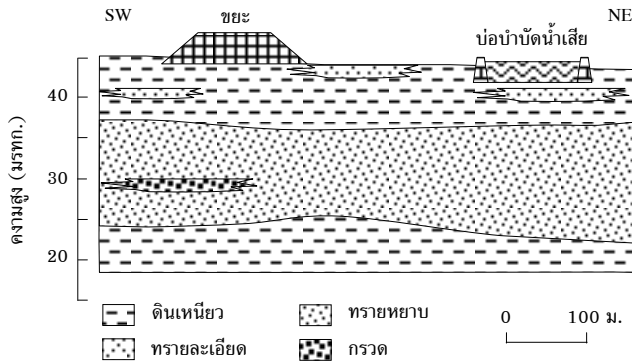
รูปที่ 1 (ต่อ)

2. การสาธิตโปรแกรมในพื้นที่ศึกษา ตั้งอยู่ที่ตำบลบึงกอก อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก (รูปที่ 2) บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 47 ริมทางหลวงหมายเลข 1065



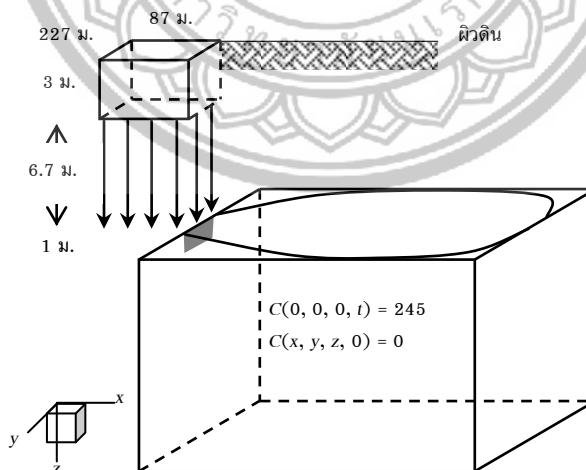
รูปที่ 2 พื้นที่ศึกษา ใน พ.ศ. 2544 การฝังกลบบนดำเนินการเพียงหนึ่งในสี่ส่วน น้ำชะขยะถูกดักเก็บและสูบออกไปไว้ยังบ่อน้ำบาดน้ำเสีย

สภาพพื้นที่และลักษณะใต้ดินของพื้นที่ศึกษาเป็นดังนี้ ชั้นน้ำที่วางตัวอยู่ข้างใต้หลุมฝังกลบ มีความลึก 8-11 ม. และมีความหนา 6-11 ม. ค่าสัมประสิทธิ์ของการซึมได้มีค่า 98.7 ม./วัน น้ำบาดาล ไหลด้วยความเร็วเฉลี่ย 0.5 ม./วัน (รูปที่ 3) การวิจัยนี้เลือกบ่อน้ำบาดน้ำเสียเป็นแหล่งกำเนิดน้ำชะขยะจริง แทนหลุมฝังกลบ เนื่องจากบ่อน้ำบาดน้ำเสียตั้งอยู่ใกล้หลุมมากกว่า



รูปที่ 3 ลักษณะใต้ดินของพื้นที่ศึกษา ชั้นน้ำมีความยาวต่อเนื่องออกนอกขอบเขตที่ดินไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

การไหลลงของน้ำชะขยะจากบ่อบำบัดน้ำเสียเกิดขึ้นในแนวดิ่ง แล้วจึงแพร่กระจายจากซ้ายไปขวา บ่อบำบัดน้ำเสียมีก้นลึก 3 เมตร มีระยะห่างจากชั้นน้ำ 6.7 เมตร จึงจำเป็นต้องมีแหล่งกำเนิดเทียมตั้งอยู่ในชั้นน้ำเพื่อปล่อยน้ำชะขยะ ตัวชีวิตน้ำชะขยะที่ใช้ คือ คลอไรต์ เพราะคลอไรต์เป็นสารอนินทรีย์ที่ไม่ถูกดินเหนียวที่ผสมในชั้นน้ำดูดซับไว้ พลุ้มคลอไรต์จึงสะท้อนรูปร่างที่เสมือนพลุมน้ำชะขยะ ความเข้มข้นของคลอไรต์ที่แหล่งกำเนิดน้ำชะขยะจริงมีค่า 1,460 มก./ล. แต่หลังจากปรับปรุงแบบจำลองรวมกับการพิจารณาบ่อ B4 ที่มีความเข้มข้นของคลอไรต์ 240 มก./ล. จึงสมมุติให้แหล่งกำเนิดน้ำชะขยะเทียมมีความเข้มข้นของคลอไรต์ 245 มก./ล. (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 แบบจำลองกรอบแนวคิดพลุมน้ำชะขยะแพร่กระจายจากซ้ายไปขวาออกจากแหล่งกำเนิดน้ำชะขยะเทียมไปในบริเวณจำลอง ความเข้มข้นของคลอไรต์ที่แหล่งกำเนิดมีค่าคงที่เท่ากับ 245 มก./ล. โดยที่บริเวณจำลองเริ่มต้นสมมุติให้ไม่มีคลอไรต์

จากนั้นวาดแหล่งกำเนิดน้ำชะขยะเทียมให้มีรูปร่างสี่เหลี่ยมมุมฉากที่มีขนาดใกล้เคียงกับของเดิม เนื่องจากการจำลองแบบกระทำแต่ในชั้นน้ำ แต่แหล่งกำเนิดน้ำชะขยะจริงตั้งอยู่ที่ผิวดิน จึงต้องย้ายแหล่งกำเนิดน้ำชะขยะเทียมลงไปได้ที่ส่วนบนสุดของชั้นน้ำ สมมุติความหนา H ให้มีค่า 1 ม. วาดทิศทางการไหลของน้ำบาดาลซึ่งมีค่า $N23^\circ E$ เป็นลูกศร เนื่องจากพหลุมมีสมมาตร จึงใช้โปรแกรมคำนวณเพียงซีกขวาด้านเดียว ส่วนซีกซ้ายเป็นเงาสะท้อนของแกนสมมาตร เรียกว่า แกนพหลุมน้ำชะขยะ

โปรแกรมแบ่งส่วนในแนว x ความยาว 1,200 ม. ช่วงละ 20 ม. ในแนว y ความยาว 125 ม. ช่วงละ 5 ม. ที่ $z = 0$ ม. ในแนว z ความยาว 6 ม. ช่วงละ 1 ม. ที่ $y = 1$ ม. จำลองแบบนาน 1,030 วัน ดิสเพอร์ซิวิตีได้มาจาก Gelhar, et al. (1992) กล่าวคือ $\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$ มีค่า 10.0, 0.1, 0.01 ม. ตามลำดับ คาลิเบรชันใช้วิธีลองถูกลองผิด คาลิเบรชัน คือ การนำผลจากการจำลองแบบด้วยโปรแกรมมาเปรียบเทียบกับค่าจริงที่ตรวจวัดได้ในภาคสนาม แต่เนื่องจากมีข้อจำกัดเรื่องข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาลนอกสถานที่ ผังกลบขยะ ซึ่งอ่อนไหวต่อความรู้สึกของประชาชนที่อาศัยอยู่โดยรอบ การวิจัยนี้จึงไม่ได้เก็บตัวอย่างน้ำบาดาลในที่ดินของประชาชนเพิ่มเติม ใช้แต่ข้อมูลใน พ.ศ. 2544

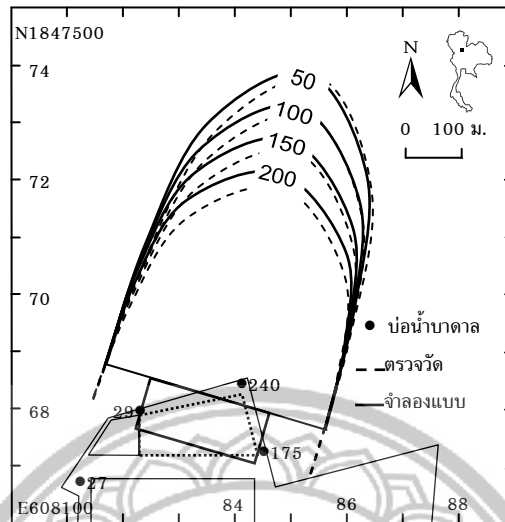
ผลการศึกษา

ผลการวิจัยได้ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางตามแนวแกน x ออกจากแหล่งกำเนิด ยิ่งห่างไกลไปจากแหล่งกำเนิดมากขึ้นเท่าใด ความเข้มข้นของคลอไรด์ก็ยิ่งมีค่าลดน้อยลง (ตารางที่ 1) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากกระบวนการดิสเพอร์ชัน

ผลการจำลองพหลุมน้ำชะขยะโดยใช้โปรแกรมได้ผลที่ใกล้เคียงข้อมูลจริงในภาคสนาม รูปที่ 5 แสดงแผนที่พหลุมที่มีเส้นชั้นความเข้มข้นของคลอไรด์ลดหลั่นชั้นละ 50 มก./ล. โดยมีความเข้มข้นมากที่สุดที่แหล่งกำเนิดแล้วมีค่าลดลงเมื่อออกไปไกลมากขึ้น ค่าธรรมชาติของความเข้มข้นของคลอไรด์มีค่าไม่เกิน 10 มก./ล. แต่ไม่ใช่ 0 มก./ล. ดังนั้น เส้นชั้นสุดท้ายที่วาดจึงให้มีค่า 50 มก./ล.

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นของคลอไรด์ที่ได้มาจากการใช้โปรแกรมในเอ็กเซลสเปรดชีต

x (ม.)	y = 0 (ม.)	y = 100 (ม.)	y = 110 (ม.)	y = 115 (ม.)	y = 120 (ม.)	y = 125 (ม.)
0	245.00	245.00	245.00	40.00	0.00	0.00
100	127.52	127.36	99.86	47.01	9.32	0.65
200	93.73	92.19	66.55	38.08	14.25	3.23
300	76.32	73.21	51.46	32.30	15.32	5.25
400	59.00	55.12	38.48	25.57	13.79	5.86
500	33.97	30.97	21.64	14.96	8.76	4.25
600	11.20	9.98	7.00	4.99	3.10	1.64
700	1.76	1.54	1.09	0.79	0.51	0.29
800	0.12	0.10	0.07	0.05	0.04	0.02
900	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1,000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1,100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1,200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



รูปที่ 5 แผนที่พุ่มคลองไรต์ในพื้นที่ศึกษาที่ส่วนบนสุดของชั้นน้ำ $z = 0$ ม. การแพร่กระจายตัวของน้ำชะขยะอยู่ไกลที่สุดจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ในทิศทางตามแนวแกน x เป็นระยะทาง 650 ม. ตามแนวแกน y ทั้ง 2 ข้างของแกนพุ่มข้างละ 125 ม.

ใช้รูปที่ 6 แสดงแผนภาพตัดขวางพุ่มเพื่อชี้ว่า ก้นพุ่มอยู่ลึกไม่เกิน 6 ม. พุ่มน้ำชะขยะแพร่กระจายในทิศทางแนวขวางน้อยกว่าในทิศทางแนวยาว กรณีแนวแกน y ความเข้มข้นของคลอไรด์ค่อนข้างคงที่ระหว่างระยะทาง 0-100 ม. และมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเข้าสู่ค่าธรรมชาติในบริเวณขอบพุ่มระหว่างระยะทาง 100-125 ม.



รูปที่ 6 กราฟได้จลสารจากการจำลองแบบการกระจายตัวของคลอไรด์จากน้ำชะขยะในน้ำบาดาลภายในพื้นที่ศึกษาที่ความลึกต่างๆ ในแกนพุ่ม ยิ่งลึกความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำบาดาลยิ่งลดน้อยลง

อภิปรายผลการศึกษา

จากการทดสอบการใช้งานโปรแกรมเบื้องต้นกับบุคลากรจำนวนหนึ่งในองค์การบริหารส่วนตำบลที่ไม่อนุญาตให้เปิดเผยชื่อผู้ตอบ พบว่า โปรแกรมอาจมีจุดอ่อน 4 อย่าง ดังนี้

1. ตัวแปร บุคลากรในองค์การบริหารส่วนตำบลไม่เคยศึกษาเกี่ยวกับการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ รวมทั้งวิชาการด้านน้ำบาดาลและมลพิษในน้ำบาดาล จึงไม่เข้าใจความหมายและวิธีการกรอกค่าตัวแปร ได้แก่ ดิสเพอร์ซิวิตี ความเร็วการไหลของน้ำบาดาล และตำแหน่งที่สนใจคำนวณความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำชะขยะ

2. กราฟ กราฟโค้งมัลสารที่โปรแกรมสร้างขึ้นใช้สื่อสารยาก แต่ช่วยคำนวณความยาวแกนพลุมได้อย่างรวดเร็ว จุดอ่อนที่สำคัญของการคำนวณในแนวแกน x เพียงอย่างเดียว คือ ทำให้บุคลากรในองค์การบริหารส่วนตำบลต้องคำนวณซ้ำๆ โดยเปลี่ยนระยะ y และ z ไปทีละน้อย เนื่องจากโปรแกรมคำนวณได้ครั้งละ 1 ตำแหน่ง เมื่อต้องการวาดภาพ 3 มิติ จึงต้องคำนวณสะสมข้อมูลไว้ ขั้นตอนเช่นนี้มีความยุ่งยาก รวมถึงภาพ 3 มิติต้องวาดเส้นชั้นแสดงความเข้มข้นของคลอไรด์ที่มีค่าเท่ากัน ผู้วาดต้องเคยมีประสบการณ์ในการวาดเส้นชั้นมาก่อน ไม่สามารถใช้เอ็กซ์เซลสเปรดชีทวาดให้ได้

3. คาลิเบรชัน บุคลากรในองค์การบริหารส่วนตำบลอาจไม่เห็นคุณค่าของคาลิเบรชัน เนื่องจากค่าจริงที่จะนำมาเปรียบเทียบได้มาจากการชุดหลุมและติดตั้งบ่อสังเกตการณ์ เพื่อเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลรอบแหล่งกำเนิดน้ำชะขยะมาตรวจวิเคราะห์ความเข้มข้นของคลอไรด์ ทำตามฤดูกาลอย่างน้อยปีละ 3 ครั้ง จึงเสียค่าใช้จ่ายสูง

4. ความน่าเชื่อถือ โปรแกรมเกิดจากการแปลงสูตรคณิตศาสตร์ลงในเอ็กซ์เซลสเปรดชีทซึ่งพบได้ทั่วไปในเครื่องคอมพิวเตอร์ตระกูลไอบีเอ็มหรือพีซีที่ใช้ชุดโปรแกรมไมโครซอฟท์ออฟฟิศ บุคลากรในองค์การบริหารส่วนตำบลจึงอาจมีความพึงพอใจต่อโปรแกรมนี้ไม่มากเท่ากับโปรแกรมที่มีราคาแพงและสร้างกราฟิกสีสันสวยงาม

นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบผลการวิจัยนี้กับงานวิจัยในอดีต พบว่า ให้ผลสอดคล้องกับการนำคำตอบของโดเมนนิโกไปใช้ในโจทย์ภาคสนามอื่นๆ (Fryar, & Domenico, 1989; Tong, & Rong, 2002; Ala, & Domenico, 1992) เอเรอร์ระหว่างแบบจำลองและค่าจริงมีค่าน้อยกว่า 10% อันเนื่องมาจากการปรับเปลี่ยนค่าระหว่างที่ทำคาลิเบรชัน ซึ่งเป็นเออเรอร์ที่ยอมรับได้ (Domenico, & Schwartz, 1998) แต่สิ่งที่สำคัญกว่าของงานวิจัยนี้เมื่อเปรียบเทียบกับงานของผู้อื่น คือ ไร้ค่าจริงสำหรับเปรียบเทียบ ผลกับแบบจำลองในบริเวณนอกขอบเขตที่ดิน เนื่องจากเป็นประเด็นที่มีความอ่อนไหวต่อการดำเนินงานของเทศบาลนครพิษณุโลกและเจ้าของที่ดินข้างเคียง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับ Devlin, et al. (2012) แล้ว เอ็กซ์เซลสเปรดชีทสามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนได้ง่ายกว่า

สรุปผลการศึกษา

เอ็กซ์เซลสเปรดชีตเป็นโปรแกรมฟรีที่มาพร้อมกับชุดโปรแกรมไมโครซอฟท์ออฟฟิศ เมื่อประยุกต์ด้วยการนำสูตรคณิตศาสตร์ที่อธิบายการแพร่กระจายของน้ำชะขยะในน้ำบาดาลไปจัดวางลงในสแตมภ์ต่างๆ โดยให้ผลคูณของพจน์ต่างๆ กลายเป็นความเข้มข้นของตัวชี้วัดมลพิษในน้ำบาดาล เอ็กซ์เซลสเปรดชีตนั้นก็จะเป็นโปรแกรมที่ใช้งานง่าย ฟรี และให้ผลลัพธ์ของความยาวพจน์ที่ถูกต้อง ในบรรดาสูตรคณิตศาสตร์ที่ใช้จำลองการเคลื่อนที่ของน้ำชะขยะในน้ำบาดาลออกจากหลุมฝังกลบ คำตอบโดเมนิกเป็นที่ยอมรับแพร่หลายมากที่สุด เพราะใช้งานง่าย ไม่มีพจน์อินทิเกรชันค้างอยู่ และใส่ค่าตัวแปรที่วัดได้ในภาคสนาม การสาธิตโปรแกรมที่หลุมฝังกลบจริง พบว่า โปรแกรมใช้งานได้ดี ให้ผลการจำลองที่คล้ายคลึงกับของจริง แต่มีข้อจำกัดเรื่องข้อมูลนอกสถานที่ฝังกลบขยะ อีกทั้งการถ่ายทอดเทคโนโลยีไปยังองค์การบริหารส่วนตำบลอาจเกิดปัญหา ได้แก่ พันความรู้เกี่ยวกับมลพิษในน้ำบาดาล การจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ ศัพท์เทคนิคที่เกี่ยวข้องกับตัวแปร การอ่านกราฟ และการอธิบายข้อจำกัดของโปรแกรม

กิตติกรรมประกาศ

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยนเรศวร งบประมาณแผ่นดินประจำปี พ.ศ. 2556 (สัญญาเลขที่ R2556B007) ขอขอบคุณนิสิตช่วยงานวิจัย ได้แก่ นายกฤษฎา ภาณุมนต์วาทิ และนายกิตติ แก้วฟ้า

เอกสารอ้างอิง

- Ala, N. K., & Domenico, P. A. (1992). Inverse analytical techniques applied to coincident contaminant distributions at Otis Air Force Base, Massachusetts. *Ground Water*, 30, 212–218.
- Devlin, J. F., Brookfield, A., Huang, B., & Schillig, P. C. (2012). Using the Domenico solution to teach contaminant transport modeling. *Journal of Geoscience Education*, 60(2), 123–132.
- Domenico, P. A., & Robbins, G. A. (1985). A new method of contaminant plume analysis. *Ground Water*, 23(4), 476–485.
- Domenico, P. A., & Schwartz, F. W. (1998). *Physical and chemical hydrogeology* (2nd ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Fryar, A. E., & Domenico, P. A. (1989). Analytical inverse modeling of regional scale tritium waste migration. *Journal of Contaminant Hydrology*, 4, 113–125.
- Gelhar, L. W., Welty, C., & Rehfeldt, K. W. (1992). A critical review of data on field-scale dispersion in aquifers. *Water Resources Research*, 28(7), 1955–1974.

Srinivasan, V., Clement, T. P., & Lee, K. K. (2007). Domenico solution–Is it valid?. *Ground Water*, 45(2), 136–146.

Tong, W. X., & Rong, Y. (2002). Estimation of methyl tert-butyl ether plume length using the Domenico analytical model. *Environmental Forensics*, 3(1), 81–87.

