บทที่ 2

ความส่งน้ำจำเพาะ(Specific yield)

2.1 คำจำกัดความ

ความส่งน้ำจำเพาะ(Specific yield) หมายถึง ปริมาณน้ำที่อยู่เต็มในช่องว่างของเม็ดทราย จะไหลออกมาได้โดยแรงดึงดูดของโลก(Gravity)อย่างเดียว

ถ้าให้ Sy คือ ค่าความส่งน้ำจำเพาะ(เปอร์เซ็นต์)

Wy คือ ปริมาตรของน้ำที่ไหลระบายออกโดยแรงดึงดูดของโลก(ซม.^{3})

V คือ ปริมาตรทั้งหมดของตัวอย่างทราย(ซม.^{3})

จะได้ $$Sy = \frac{100\ Wy}{V} \text{ ----- } \%$$ (2.1)[21]

ค่าความส่งน้ำจำเพาะของชั้นรับน้ำบาดาล(Aquifer materials) (ดูตารางที่ 2.1)[5]

ความตกค้างจำเพาะ(Specific retention) หมายถึง ปริมาณน้ำที่ตกค้างอยู่ในตัวอย่างทราย และต้านแรงดึงดูดของโลก

ถ้าให้ Sr คือ ค่าความตกค้างจำเพาะ(เปอร์เซ็นต์)

Wr คือ ปริมาตรของน้ำที่ตกค้างอยู่ในตัวอย่างทราย(ซม.^{3})

V คือ ปริมาตรทั้งหมดของตัวอย่างทราย(ซม.^{3})

จะได้ $$Sr = \frac{100\ Wr}{V} \text{ ----- } \%$$ (2.2)[21]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความส่งน้ำจำเพาะของชั้นรับน้ำบาดาล (Aquifer materials) ชนิดต่างๆ

Aquifer material	No. of analyses	Range	Arithmetic mean
Sedimentary materials			
Sandstone (fine)	47	0.02 - 0.40	0.21
Sandstone (medium)	10	0.12 - 0.41	0.27
Siltstone	13	0.01 - 0.33	0.12
Sand (fine)	287	0.01 - 0.46	0.33
Sand (medium)	297	0.16 - 0.46	0.32
Sand (coarse)	143	0.18 - 0.43	0.30
Gravel (fine)	33	0.13 - 0.40	0.28
Gravel (medium)	13	0.17 - 0.44	0.24
Gravel (coarse)	9	0.13 - 0.25	0.21
Silt	299	0.01 - 0.39	0.20
Clay	27	0.01 - 0.18	0.06
Limestone	32	0 - 0.36	0.14
Wind-laid loess	5	0.14 - 0.22	0.18
Eolian sand	14	0.32 - 0.47	0.38
Tuff	90	0.02 - 0.47	0.21
Metamorphic rock, schist	11	0.22 - 0.33	0.26

(ที่มา จากเอกสารอ้างอิง 5)

ความพรุน(Porosity) หมายถึง จำนวนช่องว่างที่มีอยู่ในตัวอย่างทรายทั้งหมด โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาณทั้งหมดของตัวอย่างทรายนั้น หรือคือ อัตราส่วนของปริมาตรของน้ำที่อิ่มตัวในช่องว่างของตัวอย่างทราย ต่อปริมาตรทั้งหมดของตัวอย่างทรายนั้น

ถ้าให้ n คือ ความพรุน(เปอร์เซ็นต์)

W คือ ปริมาตรของช่องว่างหรือของน้ำที่อิ่มตัวในช่องว่างของตัวอย่างทราย(ซม.^{3})

V คือ ปริมาตรทั้งหมดของตัวอย่างทราย(ซม.^{3})

จะได้ $$n = \frac{100\ W}{V} \text{ ------ } \%$$ (2.3)[21]

ดังนั้นสามารถแสดงสมการความสัมพันธ์ของความพรุน, ความส่งน้ำจำเพาะ และความตกค้างจำเพาะได้ดังนี้คือ

$$n = Sy + Sr \qquad (2.4)^{21}$$

รายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับค่าความส่งน้ำจำเพาะ, ความตกค้างจำเพาะ และความพรุน ของชั้นรับน้ำบาดาล(ดูรูปที่ 1.3)[21] และ(ดูตารางที่ 2.2)[13,14]

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าเฉลี่ยความพรุน, ความส่งน้ำจำเพาะ และการไหลซึม ของชั้นรับน้ำบาดาลชนิดต่างๆ

Material	*Porosity, percent*	*Specific yield, percent*	*Permeability, K_r, gpd/sq ft*	*Intrinsic permeability, darcys*
Clay	45	3	0.01	0.0005
Sand	35	25	1000	50
Gravel	25	22	100000	5000
Gravel and sand	20	16	10000	500
Sandstone	15	8	100	5
Limestone, shale	5	2	1	0.05
Quartzite, granite	1	0.5	0.01	0.0005

(ที่มา จากเอกสารอ้างอิง 13 และ 14)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 ความสัมพันธ์ของการไหลของน้ำใต้ดินกับความส่งน้ำจำเพาะ

สมการที่ใช้สำหรับการไหลของน้ำใต้ดิน เพื่อหาระดับการลดของน้ำ อันมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งที่ห่างจากศูนย์กลางของบ่อ และเวลาที่ใช้นับแต่เริ่มสูบน้ำเป็นต้นไป มีดังต่อไปนี้

$$y = \frac{Q}{4\pi KD} \int_{\frac{r^2}{4\alpha t}}^{\infty} \frac{e^{-u}}{u}\, du \quad \text{-----} \qquad (2.5)^{3,16,21}$$

(Non-equilibrium equation หรือ Theis equation)

ให้ $W(u)$ = Well function = $\int_{\frac{r^2}{4\alpha t}}^{\infty} \frac{e^{-u}}{u}\, du$

ดังนั้น $y = \frac{Q}{4\pi KD} W(u) = \frac{Q}{4\pi T} W(u)$ $\qquad (2.6)^{3,16,21}$

ในเมื่อ y คือ ระดับน้ำที่ลดลง(Drawdown)ของบ่อที่สังเกตการลดลงของระดับน้ำ(Observation well) ที่รัศมี r ห่างจากศูนย์กลางของบ่อสูบน้ำ(Well pumping test) (ฟุต)

Q คือ ปริมาณน้ำที่ได้จากบ่อสูบน้ำ (ฟ.^{3}/วินาที)

K คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลซึม (ฟุต/วินาที)

D คือ ความหนาของชั้นทรายธรรมชาติ (ฟุต)

T คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลผ่าน (ฟ.^{3}/วินาที/ฟุต)

π คือ ค่าคงที่ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.1416

$W(u)$ คือ ค่าของ Well function ซึ่งสามารถหาได้จากค่าอนุกรมต่อไปนี้คือ

$$W(u) = -0.5772 - \ln u + u - \frac{u^2}{2X2!} + \frac{u^3}{3X3!} + \text{----------}$$

(ดูตารางที่ 2.3) [13,14,21,23]

และ $u = \frac{r^2}{4\alpha t} = \frac{r^2 Sy}{4Tt}$, $\alpha = \frac{KD}{Sy} = \frac{T}{Sy}$ $\qquad (2.7)^{3,16,21}$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในเมื่อ r คือ ระยะทางจากศูนย์กลางของบ่อสูบน้ำ มายังขอบบ่อที่สังเกต-การลดลงของระดับน้ำ (ฟุต)

α คือ อัตราส่วนของสัมประสิทธิ์ของการไหลผ่าน(Coefficient of transmissibility , T or KD) ต่อความสงน้ำจำเพาะ(Specific yield , Sy) นั่นคือ $= \frac{T}{Sy}$

t คือ เวลาที่ใช้ในการทดสอบสูบน้ำจากบ่อ (วินาที)

Sy คือ ความสงน้ำจำเพาะ

T คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลผ่าน(ฟ.^{3}/วินาที/ฟุต)

ถ้าให้ Q คือ ปริมาณน้ำที่ได้จากบ่อสูบน้ำ (แกลลอน/นาที)

y คือ ระดับน้ำที่ลดลงของบ่อที่สังเกตการลดลงของระดับน้ำ ที่รัศมี r ห่างจากศูนย์กลางของบ่อสูบน้ำ (ฟุต)

W(u) คือ ค่าของ Well function ซึ่งสามารถหาได้จากค่าอนุกรมต่อไปนี้คือ

$$W(u) = -0.5772 - \ln u + u - \frac{u^2}{2X2!} + \frac{u^3}{3X3!} + __ \quad \text{(ดูตารางที่ 2.3)}$$

และ
$$u = \frac{1.87r^2Sy}{Tt} \qquad (2.8)^{4,7,16}$$

ในเมื่อ r คือ ระยะทางจากศูนย์กลางของบ่อสูบน้ำ มายังขอบบ่อที่สังเกตการลดลงของระดับน้ำ (ฟุต)

Sy คือ ความสงน้ำจำเพาะ

T คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลผ่าน (แกลลอน/วัน/ฟุต)

t คือ เวลาที่ใช้ในการทดสอบสูบน้ำจากบ่อ (วัน)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

009676

จะได้ $$T = \frac{114.6Q}{y} \int_{\frac{1.87r^2Sy}{Tt}}^{\infty} \frac{e^{-u}}{u}\, du \qquad (2.9)^{4,7}$$

ให้ $$W(u) = \text{Well function} = \int_{\frac{1.87r^2Sy}{Tt}}^{\infty} \frac{e^{-u}}{u}\, du$$

ดังนั้น $$T = \frac{114.6Q}{y} W(u) \qquad (2.10)^{4,7}$$

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง u และ W(u)

u	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
$\times 1$	0.219	0.049	0.013	0.0038	0.00114	0.00036	0.00012	0.000038	0.000012
$\times 10^{-1}$	1.82	1.22	0.91	0.70	0.56	0.45	0.37	0.31	0.26
$\times 10^{-2}$	4.04	3.35	2.96	2.68	2.48	2.30	2.15	2.03	1.92
$\times 10^{-3}$	6.33	5.64	5.23	4.95	4.73	4.54	4.39	4.26	4.14
$\times 10^{-4}$	8.63	7.94	7.53	7.25	7.02	6.84	6.69	6.55	6.44
$\times 10^{-5}$	10.95	10.24	9.84	9.55	9.33	9.14	8.99	8.86	8.74
$\times 10^{-6}$	13.24	12.55	12.14	11.85	11.63	11.45	11.29	11.16	11.04
$\times 10^{-7}$	15.54	14.85	14.44	14.15	13.93	13.75	13.60	13.46	13.34
$\times 10^{-8}$	17.84	17.15	16.74	16.46	16.23	16.05	15.90	15.76	15.65
$\times 10^{-9}$	20.15	19.45	19.05	18.76	18.54	18.35	18.20	18.07	17.95
$\times 10^{-10}$	22.45	21.76	21.35	21.06	20.84	20.66	20.50	20.37	20.25
$\times 10^{-11}$	24.75	24.06	23.65	23.36	23.14	22.96	22.81	22.67	22.55
$\times 10^{-12}$	27.05	26.36	25.95	25.66	25.44	25.26	25.11	24.97	24.86
$\times 10^{-13}$	29.36	28.66	28.26	27.97	27.75	27.56	27.41	27.28	27.16
$\times 10^{-14}$	31.66	30.97	30.56	30.27	30.05	29.87	29.71	29.58	29.46
$\times 10^{-15}$	33.96	33.27	32.86	32.58	32.35	32.17	32.02	31.88	31.76

(ที่มา จากเอกสารอ้างอิง 13,14,21 และ 23 อ้างถึง 24)

ดังนั้นจึงเห็นได้ว่า ค่าความส่งน้ำจำเพาะ(Sy หรือ $\bar{V}$)มีความสำคัญมากต่อสมการของความไม่สมดุลย์หรือความไม่คงที่ อันเป็นผลสืบเนื่องมาจากการลดลงของระดับน้ำบาดาลตามรัศมีต่างๆ และค่าพารามิเตอร์(Parameter)ที่มีผลต่อการไหลของน้ำในบริเวณแผ่ไปรอบ

บ่อ จึงขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดทราย ในที่นี้ใช้ค่าขนาดเฉลี่ย(d50)เป็นตัวกำหนด การเรียงเม็ด(σ) และความสามารถในการส่งน้ำจำเพาะ(Sy) ซึ่งเป็นเรื่องที่จะต้องหาโดยการวิจัยต่อไป

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการส่งน้ำจำเพาะกับค่าขนาดเฉลี่ย(Mean size , d50) กับการเรียงเม็ดของทราย(σ)

วิธีหาค่าขนาดเฉลี่ย(d50)และการเรียงเม็ด(σ)ของตัวอย่างทรายจากชั้นทรายธรรมชาติ(Aquifer) สามารถกระทำได้โดยการร่อนตัวอย่างทรายผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ ที่เรียงเป็นอนุกรม จากขนาดโตซึ่งอยู่ข้างบนไปสู่ขนาดเล็กซึ่งอยู่ข้างล่างตามลำดับ และตะแกรงที่ใช้เป็นแบบ U.S. Standard Sieve (ดูตารางที่ 2.4)[8,12,17,18] แล้วทำการชั่งน้ำหนักทรายที่ตกค้างอยู่บนแต่ละตะแกรง ทำให้ทราบเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของทรายที่ตกค้างบนตะแกรงและเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของทรายที่ลอดผ่านตะแกรงได้ ต่อไปนำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเม็ดทราย กับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของทรายที่ลอดผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ จากกราฟนี้ทำให้ทราบค่าขนาดเฉลี่ย(d50) ค่า d16 และค่า d84 ได้(ดูรูปที่ 2.1)[10]

สมการที่ใช้สำหรับหาค่าการเรียงเม็ดของทราย(σ) มีดังต่อไปนี้

$$\sigma = \frac{1}{2}\left[\frac{d50}{d16} + \frac{d84}{d50}\right] \qquad (2.11)^{17}$$

ในเมื่อ σ คือ ค่าความหยาบและละเอียดต่อการเรียงเม็ดของตัวอย่างทราย

d16 , d50และ d84 คือ ขนาดของตัวอย่างทราย ซึ่งในตัวอย่าง 100 ส่วน เม็ดที่เล็กกว่าจะลอดผ่านตะแกรงเท่ากับ 16%,50%และ84% โดยน้ำหนักตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.4 แสดงอนุกรมขนาดของตะแกรง

Tyler Standard				U. S. Bureau of Standards		
	Opening		Wire Diameter,		Opening	
Mesh	in.	mm	in.	Number	in.	mm
..	3.0	76.2	0.207	..	4.00	101.6
..	2.0	50.8	0.192	..	2.00	50.8
..	1.050	26.67	0.148	..	1.00	25.4
..	0.742	18.85	0.135	..	0.750	19.1
..	0.525	13.33	0.105	..	0.500	12.7
..	0.371	9.423	0.092	..	0.375	9.52
3	0.263	6.680	0.070	3	0.250	6.35
4	0.185	4.699	0.065	4	0.187	4.76
6	0.131	3.327	0.036	6	0.132	3.36
8	0.093	2.362	0.032	8	0.0937	2.38
9	0.078	1.981	0.033	10	0.0787	2.00
10	0.065	1.651	0.035	12	0.0661	1.68
14	0.046	1.168	0.025	16	0.0469	1.19
20	0.0328	0.833	0.0172	20	0.0331	0.840
28	0.0232	0.589	0.0125	30	0.0232	0.590
35	0.0164	0.417	0.0122	40	0.0165	0.420
48	0.0116	0.295	0.0092	50	0.0117	0.297
60	0.0097	0.246	0.0070	60	0.0098	0.250
65	0.0082	0.208	0.0072	70	0.0083	0.210
100	0.0058	0.147	0.0042	100	0.0059	0.149
150	0.0041	0.104	0.0026	140	0.0041	0.105
200	0.0029	0.074	0.0021	200	0.0029	0.074
270	0.0021	0.053	0.0016	270	0.0021	0.053
400	0.0015	0.038	0.001	400	0.0015	0.037

(ที่มา จากเอกสารอ้างอิง 12 อ้างถึง 22)

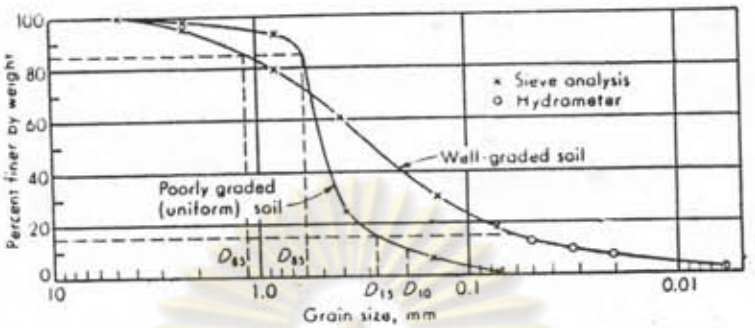
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.4(ต่อ) แสดงอนุกรมขนาดของตะแกรงเพิ่มเติม

Tyler screen		U.S. Standard Sieve	
Opening , mm.	Mesh	Opening , mm.	Mesh
3.96	5	4.00	5
2.79	7	2.83	7
1.40	12	1.41	14
0.991	16	1.00	18
0.701	24	0.707	25
0.495	32	0.500	35
0.351	42	0.354	45
0.175	80	0.177	80
0.124	115	0.125	120
0.088	170	0.080	170

(ที่มา จากเอกสารอ้างอิง 17 และ18)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1 กราฟแสดงการกระจายของขนาดดินชนิดต่างๆพร้อมทั้งลักษณะของเส้นกราฟ

(ที่มา จากเอกสารอ้างอิง 10)

ดังนั้นจากค่าพารามิเตอร์(Parameter)ที่มีผลต่อการไหลของน้ำในบริเวณแผ่ไปรอบบ่อตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างการเรียงเม็ดกับความสูงน้ำจำเพาะ ส่วนใหญ่รายที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากัน แต่การเรียงเม็ดไม่เท่ากันได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย