

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลในท่อของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทราย

Friction coefficient in the pipe of flow that combine



2/11  
ท. 228 ก  
2549

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 72192  
วัน,เดือน,ปี..... 12 ส.ย. 2550

b. 117 64600  
i. ....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2549

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2549

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลในท่อของของไหลผสมระหว่างน้ำ  
กับทราย

**Friction coefficient in the pipe of flow that combine**

ผู้จัดทำ

- |                 |             |                       |
|-----------------|-------------|-----------------------|
| 1. นายทวีศักดิ์ | จันทอง      | รหัสประจำตัว 47015359 |
| 2. นายสุธีระ    | ชีแก้ว      | รหัสประจำตัว 47015414 |
| 3. นายอาคม      | สุวรรณบุรณ์ | รหัสประจำตัว 47015420 |

อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. จำลอง ปรามแก้ว)

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผศ. มณฑล ใจกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

ตารางการที่ ก-1 ค่ามวลของเส้นผ่านศูนย์กลางทรายเฉลี่ยที่ 0.15 มม.

ลำดับ	การปรับมวล (เปอร์เซ็นต์)	% ของทราย	$u_m$ (m/s)	$Re_s$	$\lambda$	$\Delta h$ (mm)
1	1	5	0.8050	167.8273	0.04076	8.74
2	2	5	1.0863	226.4880	0.03897	14.984
3	3	5	1.4207	296.1677	0.03665	19.467
4	4	5	1.6626	346.6940	0.0359	26
5	5	5	1.7899	373.1380	0.03413	31.468
6	1	10	0.7573	146.9000	0.04132	8.43
7	2	10	1.0388	201.3300	0.03942	14.621
8	3	10	1.3532	262.2826	0.03765	19.021
9	4	10	1.6608	321.9700	0.0371	26.024
10	5	10	1.7801	345.2130	0.03562	30.967

ตาราง ก-1 (ต่อ)

ลำดับ	การรับवादัว (เบอร์ที่)	% ของทราย	$u_m$ (m/s)	$Re_s$	$\lambda$	$\Delta h$ (mm)
11	1	15	0.6651	119.2083	0.04369	8.21
12	2	15	0.9503	170.2173	0.04164	14.842
13	3	15	1.2919	231.4800	0.03867	18.992
14	4	15	1.6451	294.7798	0.03803	26.143
15	5	15	1.7690	316.9780	0.03782	30.836
16	1	20	0.6350	104.4800	0.04428	8.039
17	2	20	0.9055	149.0420	0.04372	14.734
18	3	20	1.2180	200.5000	0.03981	18.694
19	4	20	1.5977	262.9800	0.03884	26.013
20	5	20	1.7560	289.0500	0.03836	30.635

ตาราง ก-2 การคำนวณของเส้นผ่านศูนย์กลางทรายเฉลี่ยที่ 0.45 มม.

ลำดับ	การรับมวล (เบอร์ที่)	% ของทราย	$u_m$ (m/s)	$Re_s$	$\lambda$	$\Delta h$ (mm)
1	1	5	0.7932	198.4400	0.04196	8.632
2	2	5	1.0600	265.2990	0.03968	14.862
3	3	5	1.4030	351.0467	0.03734	19.263
4	4	5	1.6422	410.8500	0.03648	26.163
5	5	5	1.7690	442.6556	0.03496	31.349
6	1	10	0.7311	170.0338	0.04368	8.342
7	2	10	1.0112	235.1556	0.04126	14.513
8	3	10	1.2599	293.1000	0.03953	18.867
9	4	10	1.6010	372.3800	0.03698	25.901
10	5	10	1.7553	408.2135	0.03638	30.913

ตาราง ก-2 (ต่อ)

ลำดับ	การปรับวาล์ว (เบอร์ที่)	% ของทราย	$u_m$ (m/s)	$Re_s$	$\lambda$	$\Delta h$ (mm)
11	1	15	0.6420	138.0400	0.04428	8.111
12	2	15	0.9240	198.6950	0.04378	14.713
13	3	15	1.2091	277.1890	0.04219	18.798
14	4	15	1.6419	336.2294	0.04036	26.005
15	5	15	1.7420	374.5843	0.03961	30.753
16	1	20	0.6120	120.9100	0.04564	7.962
17	2	20	0.8813	174.0440	0.04495	14.611
18	3	20	1.1400	225.1976	0.04343	18.581
19	4	20	1.5120	298.5600	0.04214	25.121
20	5	20	1.7320	341.9600	0.04146	30.423

ตาราง ก-3 การคำนวณของเส้นผ่านศูนย์กลางทวารเฉลี่ยที่ 0.90 ม.ม.

ลำดับ	การปรับวาล์ว (เบอร์ที่)	% ของทราย	$u_m$ (m/s)	$Re_s$	$\lambda$	$\Delta h$ (mm)
1	1	5	0.6120	303.9300	0.0598	8.146
2	2	5	0.9230	461.9113	0.05537	14.326
3	3	5	1.2980	644.8200	0.05323	18.634
4	4	5	1.5830	792.2000	0.05143	25.687
5	5	5	1.7200	860.2100	0.04967	30.88
6	1	10	0.5730	266.6000	0.06268	7.456
7	2	10	0.8360	388.9170	0.05784	14.023
8	3	10	1.0270	477.7800	0.05587	18.534
9	4	10	1.5710	730.8640	0.05498	25.412
10	5	10	1.6570	770.7850	0.05322	30.648

ตาราง ก-3 (ต่อ)

ลำดับ	การปรับหัวตัว (เบอร์ที่)	% ของทราย	$u_m$ (m/s)	$Re_s$	$\lambda$	$\Delta h$ (mm)
11	1	15	0.5420	233.0700	0.06418	7.493
12	2	15	0.7120	306.1670	0.06226	14.034
13	3	15	0.9400	404.2368	0.05984	16.947
14	4	15	1.1510	649.4110	0.05768	25.367
15	5	15	1.6310	701.3875	0.05568	30.263
16	1	20	0.5180	204.7970	0.06632	7.347
17	2	20	0.6810	264.6090	0.06579	13.897
18	3	20	0.9010	356.1000	0.06345	16.142
19	4	20	1.4020	553.9087	0.0611	24.431
20	5	20	1.6090	635.9000	0.05895	29.867

ตาราง ก-4 การคำนวณของเส้นผ่านศูนย์กลางทรายเฉลี่ยที่ 1.20 มม.

ลำดับ	การปรับมวล (เบอร์ที่)	% ของทราย	$U_m$ (m/s)	$Re_s$	$\lambda$	$\Delta h$ (mm)
1	1	5	0.5410	532.4800	0.07412	7.013
2	2	5	0.8720	858.4200	0.07168	11.298
3	3	5	0.9870	971.4000	0.06934	15.469
4	4	5	1.4780	1376.0300	0.06816	19.842
5	5	5	1.6670	1640.6900	0.06487	28.364
6	1	10	0.5130	469.1498	0.07638	6.013
7	2	10	0.7240	662.4400	0.07415	10.978
8	3	10	0.9440	863.6900	0.07387	14.618
9	4	10	1.4620	1337.2000	0.07111	18.632
10	5	10	1.6040	1467.4600	0.06887	27.13

ตาราง ก-4 (ต่อ)

ลำดับ	การปรับวาล์ว (เบอร์ที่)	% ของทราย	$v_m$ (m/s)	$Re_s$	$\lambda$	$\Delta h$ (mm)
11	1	15	0.4820	407.8300	0.07869	6.389
12	2	15	0.6290	531.3900	0.07741	10.968
13	3	15	0.8610	730.2440	0.07594	13.673
14	4	15	1.8240	1204.1626	0.07382	18.341
15	5	15	1.5730	1330.4660	0.07163	26.943
16	1	20	0.4610	349.3900	0.07978	5.933
17	2	20	0.5380	417.9890	0.07842	10.413
18	3	20	0.8120	630.8800	0.07612	13.148
19	4	20	1.3820	1073.9500	0.07509	17.936
20	5	20	1.5180	1179.6350	0.07367	26.048

## ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข-1 การทดลองของเส้นผ่านศูนย์กลางทรายเฉลี่ยที่ 0.15 มม.

ลำดับ	การปรับവാถ (เบอร์ที่)	% ของทราย	$\dot{W}_m$ (Kg/s)	$\dot{W}_s$ (Kg/s)	$\dot{W}_w$ (Kg/s)	$u_s$ (m/s)	$u_w$ (m/s)	$u_m$ (m/s)	$\Delta h$ (mm)
1	1	5	1.6600	0.0830	1.5770	0.0270	0.7880	0.8050	9.5
2	2	5	2.0240	0.1120	2.1280	0.0364	1.0499	1.0863	14.5
3	3	5	2.9300	0.1470	0.7830	0.0477	1.3730	1.4207	18
4	4	5	3.4294	0.1714	3.2580	0.0556	1.6070	1.6626	25
5	5	5	3.6916	0.1846	3.5070	0.0599	1.7300	1.7899	32
6	1	10	1.5800	0.1580	1.4220	0.0513	0.7060	0.7573	9.3
7	2	10	2.1800	0.2180	1.9620	0.0708	0.9680	1.0388	14.3
8	3	10	2.8400	0.2840	2.5560	0.0922	1.2610	1.3532	17.8
9	4	10	3.4856	0.3486	3.1370	0.1138	1.5480	1.6608	24.8
10	5	10	3.5110	0.3511	3.3620	0.1214	1.6587	1.7801	31.8

ตารางที่ ข-1 (ต่อ)

ลำดับ	การปรับवाद (เบอร์ที่)	% ของทราย	$\dot{w}_m$ (Kg/s)	$\dot{w}_s$ (Kg/s)	$\dot{w}_w$ (Kg/s)	$u_s$ (m/s)	$u_w$ (m/s)	$u_m$ (m/s)	$\Delta h$ (mm)
11	1	15	1.4200	0.2130	1.2070	0.0691	0.5960	0.6651	9
12	2	15	2.0300	0.3045	1.7255	0.0990	0.8513	0.9503	14
13	3	15	2.7600	0.4140	2.3460	0.1344	1.1575	1.2919	17.5
14	4	15	3.5145	0.5272	2.9873	0.1711	1.4740	1.6451	24.5
15	5	15	3.7795	0.5670	3.2125	0.1840	1.5850	1.7690	31.5
16	1	20	1.3800	0.2760	1.1040	0.0896	0.5450	0.6350	8.8
17	2	20	1.9700	0.3940	1.5760	0.1279	0.7776	0.9055	13.8
18	3	20	2.6500	0.5300	2.2100	0.1720	1.0460	1.2180	17.3
19	4	20	3.4768	0.6954	2.7814	0.2257	1.3720	1.5977	24.3
20	5	20	3.8200	0.76400	3.0560	0.2480	1.5080	1.7560	31.3

ตารางที่ ข-2 การทดลองของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเฉลี่ยที่ 0.45 มม.

ลำดับ	การปรับวาล์ว (เบอร์ที่)	% ของทราย	$\dot{W}_m$ (Kg/s)	$\dot{W}_s$ (Kg/s)	$\dot{W}_w$ (Kg/s)	$u_s$ (m/s)	$u_w$ (m/s)	$u_m$ (m/s)	$\Delta h$ (mm)
1	1	5	1.6356	0.0818	1.5535	0.0265	0.7667	0.7932	9
2	2	5	2.1858	0.1093	2.0765	0.0355	1.0245	1.0600	14
3	3	5	2.8916	0.1447	2.7485	0.0470	1.3560	1.4030	18
4	4	5	3.3860	0.1693	3.2167	0.0552	1.5870	1.6422	25
5	5	5	3.6479	0.1824	3.4655	0.0592	1.7098	1.7690	32
6	1	10	1.5344	0.1534	1.3810	0.0498	0.6813	0.7311	8.7
7	2	10	2.1217	0.2122	1.9095	0.0689	0.9423	1.0112	13.7
8	3	10	2.6442	0.2644	2.3798	0.0858	1.1741	1.2599	17.2
9	4	10	3.3600	0.3360	3.0240	0.1091	1.4919	1.6010	24.5
10	5	10	3.6831	0.3683	3.3148	0.1196	1.6357	1.7553	31.5

ตารางที่ ข-2 (ต่อ)

ลำดับ	การปรับวาล์ว (เบอร์ที่)	% ของทราย	$\dot{W}_m$ (Kg/s)	$\dot{W}_s$ (Kg/s)	$\dot{W}_w$ (Kg/s)	$u_s$ (m/s)	$u_w$ (m/s)	$u_m$ (m/s)	$\Delta h$ (mm)
11	1	15	1.3716	0.2057	1.1659	0.0668	0.5752	0.6420	8.5
12	2	15	1.4638	0.2960	1.1678	0.0961	0.8279	0.9240	13.5
13	3	15	2.7541	0.4131	2.3410	0.1341	1.1550	1.2091	17
14	4	15	3.3410	0.5010	3.1635	0.1812	1.5607	1.7419	24
15	5	15	3.7218	0.5583	3.1635	0.1812	1.5608	1.7420	31.5
16	1	20	1.3315	0.2663	1.0652	0.0864	0.5256	0.6120	8.5
17	2	20	1.9164	0.3834	1.5330	0.1244	0.7569	0.8813	13.5
18	3	20	2.4801	0.4961	1.9840	0.1610	0.9790	1.1400	16.5
19	4	20	3.2900	0.6580	2.6320	0.2136	1.2980	1.5120	23
20	5	20	3.7690	0.7540	3.0150	0.2450	1.4870	1.7320	31.5

ตารางที่ ๗-3 การทดลองของเส้นผ่านศูนย์กลางทรายเฉลี่ยที่ 0.90 มม.

ลำดับ	การปรับวาล์ว (เบอร์ที่)	% ของทราย	$\dot{W}_m$ (Kg/s)	$\dot{W}_s$ (Kg/s)	$\dot{W}_w$ (Kg/s)	$u_s$ (m/s)	$u_w$ (m/s)	$u_m$ (m/s)	$\Delta h$ (mm)
1	1	5	1.2621	0.0631	1.1990	0.0205	0.5915	0.6120	8.5
2	2	5	1.9032	0.0952	1.8080	0.0309	0.8921	0.9230	14
3	3	5	2.6766	0.1338	2.5428	0.0434	0.2550	1.2980	17
4	4	5	3.2642	0.1632	3.1011	0.0530	1.5300	1.5830	24
5	5	5	3.5468	0.1773	3.3695	0.0575	1.6620	1.7200	31
6	1	10	1.2026	0.1203	1.0823	0.0390	0.5340	0.5730	8.3
7	2	10	1.7544	0.1754	1.5790	0.0569	0.7790	0.8360	13.7
8	3	10	2.1553	0.2155	1.9398	0.0699	0.9570	1.0270	16.8
9	4	10	3.2967	0.3297	2.9670	0.1070	1.4640	1.5710	23.7
10	5	10	3.4774	0.3477	3.1297	0.1129	1.5440	1.6570	30.7

ตารางที่ ข-3 (ต่อ)

ลำดับ	การปรับวาล์ว (เบอร์ที่)	% ของทราย	$\dot{W}_m$ (Kg/s)	$\dot{W}_s$ (Kg/s)	$\dot{W}_w$ (Kg/s)	$u_s$ (m/s)	$u_w$ (m/s)	$u_m$ (m/s)	$\Delta h$ (mm)
11	1	15	1.1580	0.1737	0.9843	0.0564	0.4856	0.5420	8
12	2	15	2.1582	0.2282	1.2930	0.0741	0.6379	0.7120	13.5
13	3	15	2.0082	0.301	1.707	0.0978	0.8422	0.9400	16.5
14	4	15	3.2262	0.4840	2.7422	0.1571	1.3530	1.1510	23.5
15	5	15	3.4846	0.5227	2.9619	0.1697	1.4613	1.6310	30.5
16	1	20	1.1266	0.2250	0.9016	0.0730	0.4450	0.5180	7.5
17	2	20	1.4816	0.2963	1.1853	0.0962	0.5850	0.6810	13.5
18	3	20	1.9600	0.3920	1.5680	0.1272	0.7740	0.9010	16.3
19	4	20	3.0500	0.6100	2.4400	0.1980	1.2040	1.4020	23.3
20	5	20	3.5000	0.7000	2.8000	0.2270	1.3820	1.6090	30.2

ตารางที่ ข-4 การทดสอบของเส้นผ่านศูนย์กลางทรายเฉลี่ยที่ 1.20 มม.

ลำดับ	การปรับวาล์ว (เบอร์ที่)	% ของทราย	$\dot{w}_m$ (Kg/s)	$\dot{w}_s$ (Kg/s)	$\dot{w}_w$ (Kg/s)	$u_s$ (m/s)	$u_w$ (m/s)	$u_m$ (m/s)	$\Delta h$ (mm)
1	1	5	1.1156	0.0558	1.0598	0.0181	0.5229	0.5410	6.5
2	2	5	1.7890	0.0900	1.7080	0.0292	0.8430	0.8720	11.5
3	3	5	2.0360	0.1020	1.9340	0.0331	0.9540	0.9870	14.5
4	4	5	3.0474	0.1524	2.8950	0.0495	1.4285	1.4780	19.6
5	5	5	3.4379	0.1719	3.2660	0.0558	1.6112	1.6670	28
6	1	10	1.0770	0.1080	0.9690	0.0351	0.4780	0.5130	4.25
7	2	10	1.5194	0.1519	1.3675	0.0493	0.6747	0.7240	11
8	3	10	1.9811	0.1981	1.7830	0.0643	0.8797	0.9440	14
9	4	10	3.0682	0.3068	2.7614	0.1000	1.3624	1.4620	19.5
10	5	10	3.3662	0.3366	3.0296	0.1093	1.4947	1.6040	26.5

ตารางที่ ข-4 (ต่อ)

ลำดับ	การปรับวาล์ว (เบอร์ที่)	% ของทราย	$\dot{w}_m$ (Kg/s)	$\dot{w}_s$ (Kg/s)	$\dot{w}_w$ (Kg/s)	$u_s$ (m/s)	$u_w$ (m/s)	$u_m$ (m/s)	$\Delta h$ (mm)
11	1	15	1.0298	0.1545	0.8753	0.0500	0.4319	0.4820	6
12	2	15	1.3443	0.2020	1.1423	0.0656	0.5636	0.6290	10.5
13	3	15	1.8395	0.2759	1.1423	0.0900	0.7740	0.8610	13.3
14	4	15	3.0423	0.4563	1.5636	1.2759	0.1481	1.8240	19.2
15	5	15	3.3607	0.2041	2.5860	0.1636	1.4094	1.5730	26.1
16	1	20	1.0026	0.2006	0.8020	0.0651	0.3959	0.4610	5.6
17	2	20	1.1705	0.2341	0.9364	0.0760	0.4620	0.5380	10.2
18	3	20	1.7663	0.3533	1.4130	0.1147	0.6973	0.8120	12.7
19	4	20	3.0064	0.6014	2.4050	0.1952	1.1870	1.3820	18.5
20	5	20	3.1232	0.6610	2.4622	0.2146	1.3040	1.5180	24

## ภาคผนวก ค

## ตารางที่ ค-1 ค่าความขรุขระสัมบูรณ์






Equivalent Roughness for New Pipes [From Moody (Ref. 7) and Colebrook (Ref. 8)]

Pipe	Equivalent Roughness, $\epsilon$	
	Feet	Millimeters
Riveted steel	0.003 - 0.03	0.9 - 9.0
Concrete	0.001 - 0.01	0.3 - 3.0
Wood stave	0.0006 - 0.003	0.18 - 0.9
Cast iron	0.00085	0.26
Galvanized iron	0.0005	0.15
Commercial steel or wrought iron	0.00015	0.045
Drawn tubing	0.00005	0.0015
Plastic, glass	0.0 (smooth)	0.0 (smooth)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

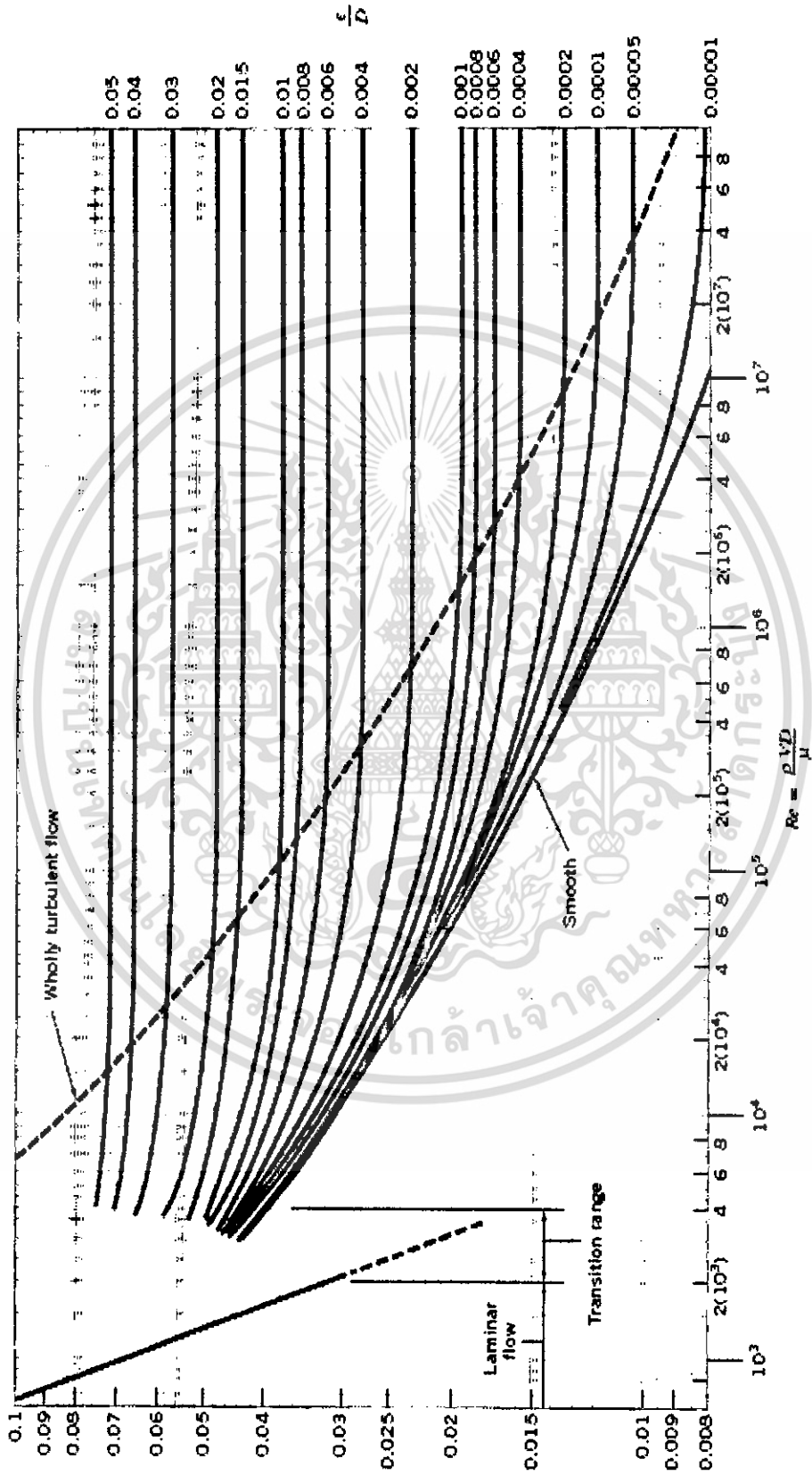
## ตารางที่ ค-2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านการไหล

Loss Coefficients for Pipe Components ( $h_L = K_L \frac{V^2}{2g}$ ) (Data from Refs. 5, 10, 27)

Component	$K_L$	
<b>a. Elbows</b>		
Regular 90°, flanged	0.3	
Regular 90°, threaded	1.5	
Long radius 90°, flanged	0.2	
Long radius 90°, threaded	0.7	
Long radius 45°, flanged	0.2	
Regular 45°, threaded	0.4	
<b>b. 180° return bends</b>		
180° return bend, flanged	0.2	
180° return bend, threaded	1.5	
<b>c. Tees</b>		
Line flow, flanged	0.2	
Line flow, threaded	0.9	
Branch flow, flanged	1.0	
Branch flow, threaded	2.0	
<b>d. Union, threaded</b>		
	0.08	
<b>e. Valves</b>		
Globe, fully open	10	
Angle, fully open	2	
Gate, fully open	0.15	
Gate, 1/4 closed	0.26	
Gate, 1/2 closed	2.1	
Gate, 3/4 closed	17	
Swing check, forward flow	2	
Swing check, backward flow	∞	
Ball valve, fully open	0.05	
Ball valve, 1/4 closed	5.5	
Ball valve, 3/4 closed	210	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ค-3 Moody diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
รายการคำย่อและสัญลักษณ์	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 วิธีการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีการไหลของไหลในท่อ	
2.1 การไหลแบบราบเรียบในท่อกกลมแนวราบ	3
2.2 การไหลแบบราบเรียบในท่อกกลมแนวเอียง	4
2.3 การไหลแบบปั่นป่วนในท่อแนวราบ	5
2.4 เสถียรภาพในระบบท่อ	6
2.4.1 การสูญเสียหลัก	6
2.4.2 การสูญเสียรอง	6
บทที่ 3 การวิเคราะห์การไหลของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายในท่อกกลมแนวราบ	
3.1 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลในแนวราบ	7
3.2 การหาค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานของทราย	9
3.3 วิธีการคำนวณและผลการคำนวณ	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ชุดทดลองและวิธีการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	
4.1 ชุดทดลองและอุปกรณ์การทดลอง	30
4.1.1 การออกแบบชุดทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	31
4.1.2 ชุดทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	32
4.2 เครื่องวัดอัตราการไหลและการสอบเทียบ	32
4.2.1 อุปกรณ์ในการสอบเทียบออริฟิซ	32
4.2.2 ขั้นตอนในการสอบเทียบออริฟิซ	33
4.3 วิธีการทดลอง	35
บทที่ 5 สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	
5.1 สรุปผลการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานทางทฤษฎี	40
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง	40
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	42
ภาคผนวก ข	50
ภาคผนวก ค	58
บรรณานุกรม	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้าที่
2.1 การไหลแบบราบเรียบเต็มท่อ	3
2.2 การไหลในท่อเอียงทำมุม $\theta$ กับแนวระดับ	4
2.3 Free body ของของไหลรูปทรงกระบอกรัศมี $r$ ความยาว $L$	5
2.4 การไหลแบบปั่นป่วนเต็มท่อ	5
3.1 แสดง Pressure drop ของการไหลของของไหลผสม	7
3.2 แสดงการพิจารณาแรงเสียดทานในท่อกลมแนวราบ	9
3.3 Flow chart การคำนวณ	10
3.4 กราฟแสดงผลการคำนวณทางทฤษฎีที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.15 ม.ม.	14
3.5 กราฟแสดงผลการคำนวณทางทฤษฎีที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.45 ม.ม.	15
3.6 กราฟแสดงผลการคำนวณทางทฤษฎีที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.90 ม.ม.	16
3.7 กราฟแสดงผลการคำนวณทางทฤษฎีที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 1.20 ม.ม.	17
3.8 กราฟแสดงค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานที่ขนาดของทราย 0.15 ม.ม. กับความเร็ว	18
3.9 กราฟแสดงค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานที่ขนาดของทราย 0.45 ม.ม. กับความเร็ว	19
3.10 กราฟแสดงค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานที่ขนาดของทราย 0.90 ม.ม. กับความเร็ว	20
3.11 กราฟแสดงค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานที่ขนาดของทราย 1.20 ม.ม. กับความเร็ว	21
3.12 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ขนาดของทราย 0.15 ม.ม. กับความเร็ว	22
3.13 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ขนาดของทราย 0.45 ม.ม. กับความเร็ว	23
3.14 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ขนาดของทราย 0.90 ม.ม. กับความเร็ว	24
3.15 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ขนาดของทราย 1.20 ม.ม. กับความเร็ว	25
3.16 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ความเร็ว 1 m/s ที่ขนาดเฉลี่ย 0.15 ม.ม.	26
3.17 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ความเร็ว 1 m/s ที่ขนาดเฉลี่ย 0.45 ม.ม.	26
3.18 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ความเร็ว 1 m/s ที่ขนาดเฉลี่ย 0.90 ม.ม.	27
3.19 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ความเร็ว 1 m/s ที่ขนาดเฉลี่ย 1.20 ม.ม.	27
3.20 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ความเร็ว 1 m/s ที่ส่วนผสมเฉลี่ย 5%	28
3.21 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ความเร็ว 1 m/s ที่ส่วนผสมเฉลี่ย 10%	28
3.22 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ความเร็ว 1 m/s ที่ส่วนผสมเฉลี่ย 15%	29
3.23 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ความเร็ว 1 m/s ที่ส่วนผสมเฉลี่ย 20%	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 แสดงการออกแบบของชุดทดลอง	30
4.2 แสดงชุดทดลองการ	31
4.3 แสดงการติดตั้งออร์พิซ	32
4.4 แสดงรูปแผ่นออร์พิซ	33
4.5 กราฟแสดงผลที่ได้จากการสอบเทียบออร์พิซ	34
4.6 กราฟแสดงผลที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบ Moody chart	34
4.7 แสดงรูปเครื่องร่อนทราย	35
4.7 กราฟแสดงผลการทดลองที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.15 ม.ม.	36
4.8 กราฟแสดงผลการทดลองที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.45 ม.ม.	37
4.9 กราฟแสดงผลการทดลองที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.90 ม.ม.	38
4.10 กราฟแสดงผลการทดลองที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 1.20 ม.ม.	39



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

	หน้าที่
ตารางที่ 2.1 แสดงเงื่อนไขของค่า $Re_c$ ที่มีผลต่อค่า $k$ และค่า $\epsilon$	10
ตารางที่ ก-1 แสดงการคำนวณของเส้นผ่านศูนย์กลางทรงทวารเจดีย์ที่ 0.15 ม.ม	45
ตารางที่ ก-2 แสดงการคำนวณของเส้นผ่านศูนย์กลางทรงทวารเจดีย์ที่ 0.45 ม.ม	47
ตารางที่ ก-3 แสดงการคำนวณของเส้นผ่านศูนย์กลางทรงทวารเจดีย์ที่ 0.90 ม.ม	49
ตารางที่ ก-4 แสดงการคำนวณของเส้นผ่านศูนย์กลางทรงทวารเจดีย์ที่ 1.20 ม.ม	51
ตารางที่ ข-1 แสดงการทดลองของเส้นผ่านศูนย์กลางทรงทวารเจดีย์ที่ 0.15 ม.ม.	53
ตารางที่ ข-2 แสดงการทดลองของเส้นผ่านศูนย์กลางทรงทวารเจดีย์ที่ 0.45 ม.ม	55
ตารางที่ ข-3 แสดงการทดลองของเส้นผ่านศูนย์กลางทรงทวารเจดีย์ที่ 0.90 ม.ม	57
ตารางที่ ข-4 แสดงการทดลองของเส้นผ่านศูนย์กลางทรงทวารเจดีย์ที่ 1.20 ม.ม	59



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายการคำย่อและสัญลักษณ์

$A$	พื้นที่ของท่อ ( $m^2$ )
$C$	ค่าสัมประสิทธิ์ของเม็คทราย
$D$	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (m)
$P$	ค่าความดันภายในท่อ (KPa)
$Re$	ค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์
$Re_s$	ค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์ของทราย
$a$	พื้นที่ของเม็คทราย ( $m^2$ )
$d_s$	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเม็คทราย (m)
$f$	ค่าความเสียดทาน
$f_s$	ค่าความฝืดระหว่างเม็คทรายกับน้ำในหนึ่งอนุภาค (kN)
$g$	ค่าแรงโน้มถ่วงของโลก = $9.81 (m/s^2)$
$w_s$	น้ำหนักของทราย (Kg)
$\dot{w}_m$	อัตราการโดยน้ำหนักเฉลี่ย (N/s)
$\dot{w}_s$	อัตราการไหลโดยน้ำหนักของทราย (N/s)
$\dot{w}_w$	อัตราการไหลโดยน้ำหนักของน้ำ (N/s)
$n$	ค่าจำนวนเม็คทรายใน $\Delta L$ ที่พิจารณา
$u_m$	ค่าความเร็วเฉลี่ยในท่อ (m/s)
$u_s$	ค่าความเร็วของทราย (m/s)
$\Delta L$	ช่วงความยาวที่พิจารณา (m)
$\Delta P$	ความแตกต่างของความดันในท่อ (KPa)
$\Delta P_s$	ความแตกต่างความดันของทราย (KPa)
$\Delta P_w$	ความแตกต่างความดันของน้ำ (KPa)
$\alpha$	อัตราส่วนความดันที่ลดลง
$\phi$	อัตราส่วนความเร็ว
$\gamma$	ค่าความหน่วงจำเพาะ ( $N/m^3$ )
$\gamma_s$	ค่าความหน่วงจำเพาะของของแข็ง ( $N/m^3$ )
$\gamma_w$	ค่าความหน่วงจำเพาะของน้ำ ( $N/m^3$ )
$\eta$	ค่าประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\lambda$  ค่าเฟคเตอร์ความเสียดทานของระบบ

$\lambda_s$  ค่าเฟคเตอร์ความเสียดทานของทราย

$\lambda_w$  ค่าเฟคเตอร์ความเสียดทานของน้ำ

$\mu_s$  อัตราส่วนของน้ำหนัก

ตัวห้อย

s ทราย

w น้ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มา

การขนถ่ายของไหลผ่านท่อมีหลายรูปแบบ เช่น การส่งน้ำของการประปา, การขนถ่ายน้ำมันผ่านระบบท่อ, การส่งของไหลผ่านท่อในอุตสาหกรรมอาหาร, อุตสาหกรรมเคมี เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีงานบางชนิดที่มีการขนถ่ายของไหลผสมระหว่างน้ำกับของแข็งที่มีลักษณะเป็นเม็ดเล็ก ๆ เช่น ในอุตสาหกรรมขุดเจาะน้ำมัน, เหมืองถ่านหิน, อุตสาหกรรมการก่อสร้าง, การคัดทรายหรือโคลนจากแม่น้ำลำคลองที่ตื้นเขิน ในกรณีดังกล่าวนี้การไหลของของไหลในท่อจะเป็นของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายหรือโคลน ในการขนถ่ายของไหลผ่านท่อ ระบบท่อดังกล่าวจะต้องใช้พลังงานในการขับเคลื่อน การสูญเสียความดันเนื่องจากความฝืดระหว่างผิวด้านในของท่อกับของไหลที่ไหลผ่านจะส่งผลถึงการสูญเสียพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนของไหล โครงการนี้จึงได้ศึกษาถึงวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลของน้ำกับทรายที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของทรายและอัตราส่วนผสมต่าง ๆ เพื่อจะได้นำค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานไปใช้ในการคำนวณหาค่ากำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนซึ่งเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนของไหลดังกล่าวต่อไป

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 วิเคราะห์หาสมการเพื่อใช้คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทราย

1.2.2 ทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายเพื่อพิสูจน์สมการที่ได้วิเคราะห์ขึ้นมา

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

วิเคราะห์หาสมการเพื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายในอัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของทรายที่ 5, 10, 15 และ 20% โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของทรายที่ 0.15, 0.45, 0.90, และ 1.20 มิลลิเมตร ในทุก ๆ อัตราส่วนผสม นำมาไหลผ่านท่อกลมในแนวราบแล้วคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจากสมการที่ได้วิเคราะห์ขึ้นเพื่อเปรียบเทียบกับผลทางการทดลอง

### 1.4 วิธีการดำเนินงาน

ในโครงการนี้เริ่มต้นโดยการศึกษาค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวกับการไหลของของไหลผสมเพื่อนำมาวิเคราะห์หาสมการสำเร็จรูปในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของของไหลผสม จากนั้นทำการออกแบบและสร้างชุดทดลองที่ใช้ทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของของไหลผสม หลังจากนั้นจึงทำการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของของไหลจากชุดทดลองที่สร้างขึ้น โดยนำผลที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณ โดยรายละเอียดของผลการทดลอง และผลการเปรียบเทียบที่ได้จากการทดลองกับผลการคำนวณทางทฤษฎีนั้นจะแสดงไว้ในผลการทดสอบและสรุปผล

## บทที่ 2

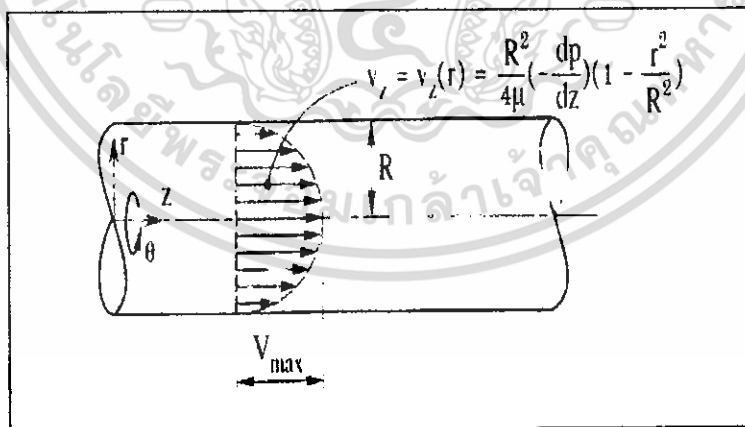
### การไหลของของไหลในท่อ

ลักษณะการไหลของของไหลที่ไหลในท่อจะมี 2 แบบคือ การไหลแบบราบเรียบ และ การไหลแบบปั่นป่วน โดยที่จะมีค่าที่เป็นตัวกำหนดลักษณะการไหลคือ ค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (Reynolds number) การไหลแบบราบเรียบ  $Re < 2100$  และการไหลแบบปั่นป่วน  $Re > 4000$

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (2.1)$$

#### 2.1 การไหลราบเรียบในท่อกลมแนวราบ

เมื่อมีของไหลไหลเข้าท่อด้วยความเร็วสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัด ยกเว้นของไหลชั้นบางๆ ที่อยู่ติดผนังท่อจะมีความเร็วเป็นศูนย์เนื่องจากผลของความหนืดที่อยู่ติดผนังท่อเป็นตัวต้านทานการไหล ในขณะที่ของไหลไหลไปตามความยาวท่อจะพบว่าเส้นแรงแสดงลักษณะโพรไฟล์ความเร็วจะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งนี้เนื่องจากความหนาของชั้นขี้นคืดจะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงแนวศูนย์กลางท่อ และสภาพการไหลในช่วงถัดไปก็จะเป็นการไหลแบบราบเรียบเต็มท่อที่มีเส้นแรงแสดงโพรไฟล์ความเร็วเป็นรูปพาราโบลาตลอดความยาวท่อ



รูปที่ 2.1 การไหลแบบราบเรียบเต็มท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์การไหลแบบราบเรียบเต็มท่อในสภาวะคงตัวโดยสมการของนาเวียร์-สโตกส์ในทิศ  $z$

$$-\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left[ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) + \frac{r \partial v_z}{\partial z^2} \right] + \rho g_z = \rho \left( \frac{\partial v_z}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) \quad (2.2)$$

ภายใต้ข้อสมมติฐานดังนี้

1. เป็นการไหล 2 มิติพิกัด  $(r, z)$  โดยมีสมมาตรในทิศ  $\theta$  และภายใต้สภาวะคงตัว
  2. พิจารณาเป็นของไหลขุ่นตัวไม่ได้ และมีคุณสมบัติคงตัว
  3. เป็นการไหลเต็มท่อ  $v_z = v_z(r)$
  4. ไม่คิดแรงเนื่องจากน้ำหนักของของไหล
- ผลการวิเคราะห์ความเร็ว  $v_z$  จากสมการของนาเวียร์-สโตกส์ จะได้สมการ

$$v_z = \frac{R^2}{4\mu} \left( -\frac{dp}{dz} \right) \left( 1 - \frac{r^2}{R^2} \right) \quad (2.3)$$

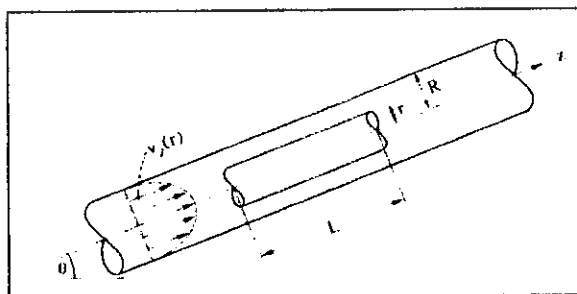
อัตราการไหลโดยปริมาตรของการไหลในท่อแนวราบ

$$Q = \int_A v_z dA = \frac{R^4}{8\mu} \left( -\frac{dp}{dz} \right) = \frac{\pi R^4}{8\mu} \left( \frac{\Delta p}{L} \right)$$

$$Q = \frac{\pi D^4 \Delta L}{128 \mu L} \quad (2.4)$$

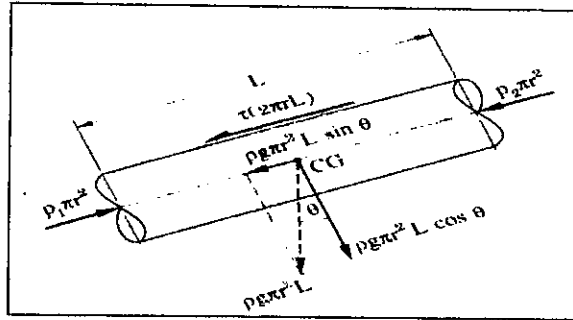
## 2.2 การไหลแบบราบเรียบในท่อกลมแนวเอียง

พิจารณาการไหลแบบราบเรียบเต็มท่อในท่อกลมเอียงทำมุม  $\theta$  กับแนวระดับ



รูปที่ 2.2 การไหลในท่อเอียงทำมุม  $\theta$  กับแนวระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 Free body ของของไหลรูปทรงกระบอกรัศมี  $r$  ความยาว  $L$

เมื่อพิจารณา Free body ในแนวเอียง

$$(p_1 - p_2)\pi r^2 = \tau(2\pi rL) + \rho g\pi r^2 L \sin \theta$$

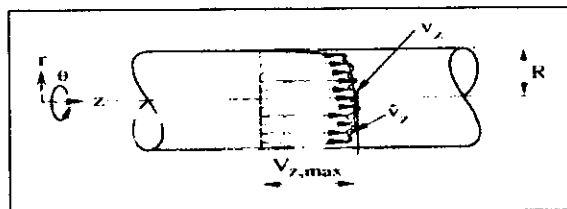
$$\frac{\Delta p - \gamma \sin \theta}{L} = \frac{2\tau}{r} \tag{2.5}$$

อัตราการไหลโดยปริมาตรของการไหลในท่อแนวราบ

$$Q = \frac{\pi(\Delta p - \gamma L \sin \theta) D^4}{128 \mu L} \tag{2.6}$$

### 2.3 การไหลแบบปั่นป่วนในท่อแนวราบ

การไหลแบบปั่นป่วนจะมีค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์  $Re > 4000$  จะมีอัตราการไหลสูงมีการไหลเวียนวนไปมาตลอดหน้าตัดต่อขณะที่ของไหลไหลผ่าน โดยที่ความเร็วย่อย ( $v_r, v_\theta, v_z$ ) ทุกตัวไม่เป็นศูนย์และความเร็วยังขึ้นกับเวลา ซึ่งส่วนของตัวประกอบความเสียดทานสำหรับการไหลแบบปั่นป่วนเต็มท่อจะขึ้นอยู่กับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์และความขรุขระสัมพัทธ์  $\left(\frac{\epsilon}{D}\right)$  โดยค่า  $\epsilon$  คือค่าความขรุขระสัมบูรณ์ (ดูได้จาก ตารางที่ ก-1)



รูปที่ 2.4 การไหลแบบปั่นป่วนเต็มท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยนาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 เฮดสูญเสียในระบบท่อ

การไหลในท่อจะมีการสูญเสียความดัน (Pressure Drop) หรือที่เรียกว่า การสูญเสียเฮด (Head Loss) การสูญเสียดังกล่าวมีสองแบบ คือ การสูญเสียในท่อตรงถือเป็นการสูญเสียหลัก (Major Loss) ส่วนการสูญเสียในอุปกรณ์ของระบบท่อ เช่น ข้อต่อ, ข้องอและวาล์ว เป็นต้น ถือว่าเป็นการสูญเสียรอง (Minor Loss)

$$H_{loss,T} = H_{loss,f} + H_{loss,m} \quad (2.7)$$

### 2.4.1 การสูญเสียหลัก (Major loss, $H_{loss,f}$ )

เป็นพลังงานที่สูญเสียไปกับความเสียดทานภายในท่อ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$H_{loss,f} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (2.8)$$

โดยที่  $H_{loss,f}$  = การสูญเสียเนื่องจากความฝืด (m)

$f$  = สัมประสิทธิ์ของความฝืด (ดูได้จากรูปที่ ค-3 Moody Diagram)

$L$  = ความยาวของท่อ (m)

$D$  = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (m)

$V$  = ความเร็วของการไหลในท่อ (m/s)

$g$  = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ( $m^2/s$ )

### 2.4.2 การสูญเสียรอง (minor loss, $H_{loss,m}$ )

เป็นการสูญเสียพลังงานเนื่องจากอุปกรณ์ในระบบท่อ เช่น ข้องอ ประตูน้ำ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$H_{loss,m} = K \frac{v^2}{2g} \quad (2.9)$$

โดย  $H_{loss,m}$  = การสูญเสียเนื่องจากอุปกรณ์ในระบบท่อ

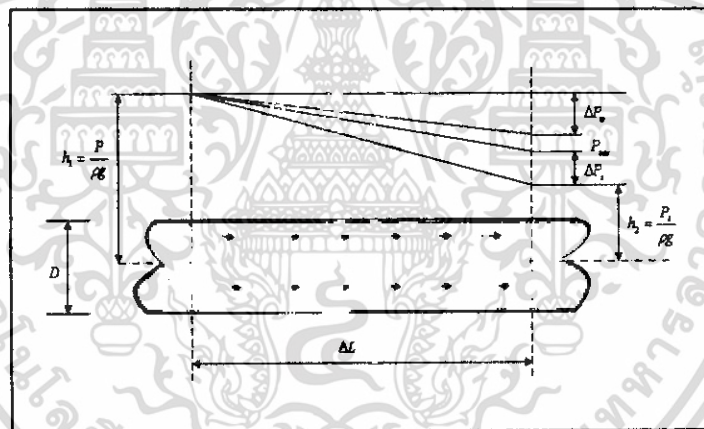
$K$  = สัมประสิทธิ์ของความต้านการไหล (ดูได้จาก ตารางที่ ค-2)

### บทที่ 3

## การวิเคราะห์การไหลของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายในท่อกลม

การหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลในท่อของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทราย จะมีตัวแปรต่างๆที่มีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน เช่น ความเร็วเฉลี่ย ( $u_m$ ) ความยาวที่พิจารณา ( $\Delta L$ ) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทราย ( $d$ ) และอัตราส่วนผสมของทรายเป็นต้น ซึ่งตัวแปรนี้จะมีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในส่วนของทฤษฎี และในส่วนของทดลอง นั้นจะมีตัวแปรต่างๆที่มีอิทธิพลได้แก่ขนาดของเม็ดทรายและอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำกับทรายเป็นต้น

### 3.1 การวิเคราะห์การไหลของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายในท่อกลมแนวราบ



รูปที่ 3.1 แสดง Pressure drop ของการไหลของของไหลผสม

เมื่อพิจารณา Pressure drop ของการไหลของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายในท่อกลมแนวราบ

$$\Delta P = \Delta P_w + \Delta P_{sc} + \Delta P_s$$

เมื่อความเร็วคงที่  $\Delta P_{sc} = 0$  จะได้สมการ

$$\Delta P = \Delta P_w + \Delta P_s \quad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากทฤษฎีของการสูญเสียหลัก (major head loss)

$$h = \lambda \frac{\Delta L}{2Dg} u_m^2$$

เมื่อ  $P = \gamma h$

จากความสัมพันธ์จะได้

$$\Delta P_w = \lambda_w \frac{\Delta L \gamma_w}{2Dg} u_m^2 \quad (3.2)$$

และ

$$\Delta P_s = \lambda_s \frac{\Delta L \gamma_w}{2Dg} u_m^2 \quad (3.3)$$

นำสมการ(3.2) และ (3.3) แทนในสมการ (3.1) จะได้

$$\Delta P = (\lambda_s + \lambda_w) \frac{\Delta L \gamma_w}{2Dg} u_m^2 \quad (3.4)$$

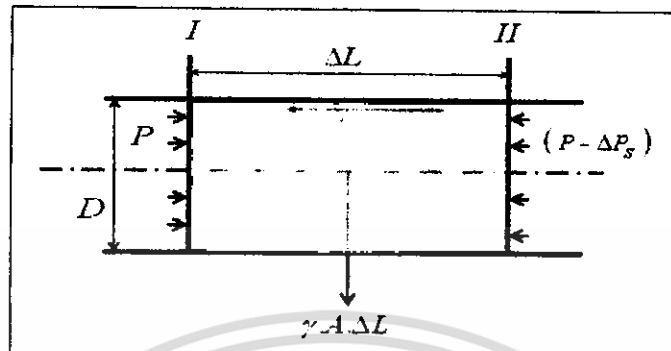
เมื่อ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน  $K = (\lambda_s + \lambda_w) \frac{\Delta L}{D}$

$$\frac{\Delta P}{\gamma} = \Delta h = K \frac{u_m^2}{2g} \quad (3.5)$$

อัตราการสูญเสียความดัน (Pressure drop ratio,  $\alpha$ )

$$\alpha = \frac{\Delta P}{\Delta P_w} = \frac{\lambda}{\lambda_w} = 1 + \frac{\lambda_s}{\lambda_w} \quad (3.6)$$

### 3.2 การหาค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานของทราย ( $\lambda_s$ )



รูปที่ 3.2 แสดงการพิจารณาแรงเสียดทานในท่อกลมแนวราบ

พิจารณาการไหลของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายในท่อกลมแนวราบเพื่อหาค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานของทราย ( $\lambda_s$ ) โดยใช้หลักการสมดุลแรง

$$PA = nf_s + (P - \Delta P_s)A \quad (3.7)$$

จะได้ค่า Pressure drop ของทราย ( $\Delta P_s$ )

$$\Delta P_s = f_s \frac{n}{A} \quad (3.8)$$

โดยที่ Drag coefficient ( $f_s$ ) หาได้จากสมการ

$$f_s = C \frac{\gamma_s}{2g} (u_m - u_s)^2 a \quad (3.9)$$

และ

$$C = \frac{k}{Re_s^e} \quad (3.11)$$

เมื่อค่า  $C$  ขึ้นอยู่กับค่า  $Re_s$ ,

$$Re_s = (1-\phi) \frac{d_s}{D} Re \quad (3.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		$k$	$\epsilon$	
1	$0 < Re_s < 1$	24	1	Stokes
2	$1 < Re_s < 500$	10	0.5	Allen
3	$500 < Re_s < 2 \times 10^5$	0.44	0	Newton

ตารางที่ 3.1 แสดงเงื่อนไขของค่า  $Re_s$  ที่มีผลต่อค่า  $k$  และค่า  $\epsilon$

เมื่อพิจารณาความสมดุลของน้ำหนัก

น้ำหนักของทราย+น้ำหนักของน้ำ = น้ำหนักทั้งหมด

$$nw_s + \left( A \Delta L - \frac{nw_s}{\gamma_s} \right) \gamma_w = \gamma_{sw} A \Delta L$$

จะได้สมการของจำนวนเม็ดทรายในส่วนของความยาว ( $\Delta L$ ) ที่พิจารณา

$$n = \frac{A \Delta L (\gamma - \gamma_w)}{w_s \left( 1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \right)} \quad (3.13)$$

จากความสัมพันธ์

$$\gamma_{sw} \cdot A \cdot \Delta L = \dot{w}_s \frac{\Delta L}{u_s} + \dot{w}_w \frac{\Delta L}{u_m}$$

$$\gamma_{sw} \cdot A = \dot{w}_w \left( \frac{\dot{w}_s \frac{w_s}{u_m} + u_s}{\frac{w_w}{u_s u_m}} \right) \quad (3.14)$$

ให้อัตราส่วนน้ำหนัก ( $\mu_s$ ) ของการไหลของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทราย  $\mu_s = \frac{\dot{w}_s}{\dot{w}_w}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้สมการ

$$\gamma_{sw} \cdot A = \dot{w}_w \left( \frac{u_m \cdot \mu_s + u_s}{u_s u_m} \right)$$

$$\gamma_{sw} \cdot A = \dot{w}_w \left( \frac{\mu_s \frac{u_m + 1}{u_s}}{u_m} \right) \quad (3.15)$$

ให้อัตราส่วนความเร็ว ( $\phi$ ) ของการไหลของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทราย  $\phi = \frac{u_s}{u_m}$

จะได้สมการ

$$\gamma_{sw} \cdot A = \dot{w}_w \left( \frac{\mu_s + 1}{\phi u_m} \right) \quad (3.16)$$

โดยที่  $\gamma_w = \frac{\dot{w}_w}{A \cdot u_m}$

จะได้ความสัมพันธ์ของสมการ  $\gamma_{sw} = \gamma_w \left( \frac{\mu_s + 1}{\phi} \right)$  แทนในสมการที่ (3.10) จะได้

$$n = \frac{\mu_s \gamma_w A \Delta L}{w_s \phi \left( 1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \right)} \quad (3.17)$$

นำสมการที่ (3.9) กับสมการที่ (3.14) และค่า  $C$  มาแทนในสมการที่ (3.8) จัดรูปแล้วคูณด้วยตัวแปดเตอร์ ( $\eta$ ) ทำให้ค่าที่ได้ถูกต้องยิ่งขึ้น

$$\Delta P_s = \left\{ \eta \frac{3k\mu_s (1-\phi)^{2-\varepsilon}}{2Re^\varepsilon \phi} \left( \frac{D}{d_s} \right)^{1+\varepsilon} \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \frac{1}{\left( 1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \right)} \right\} \frac{\Delta L \gamma_w \cdot u_m^2}{D 2g} \quad (3.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (3.4)

$$\Delta P = (\lambda_s + \lambda_w) \frac{\Delta L \gamma_w}{2Dg} u_m^2$$

นำสมการที่ (3.18) มาแทนในสมการที่ (3.4) จะได้ว่า

$$\Delta P = \left[ \lambda_w + \left\{ \eta \frac{3k\mu_s (1-\phi)^{2-\epsilon} \left(\frac{D}{d_s}\right)^{1+\epsilon}}{2Re^\epsilon \phi} \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \frac{1}{\left(\frac{1-\gamma_w}{\gamma_s}\right)} \right\} \right] \frac{\Delta L \gamma_w}{D} \frac{u_m^2}{2g} \quad (3.19)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ( $K$ )

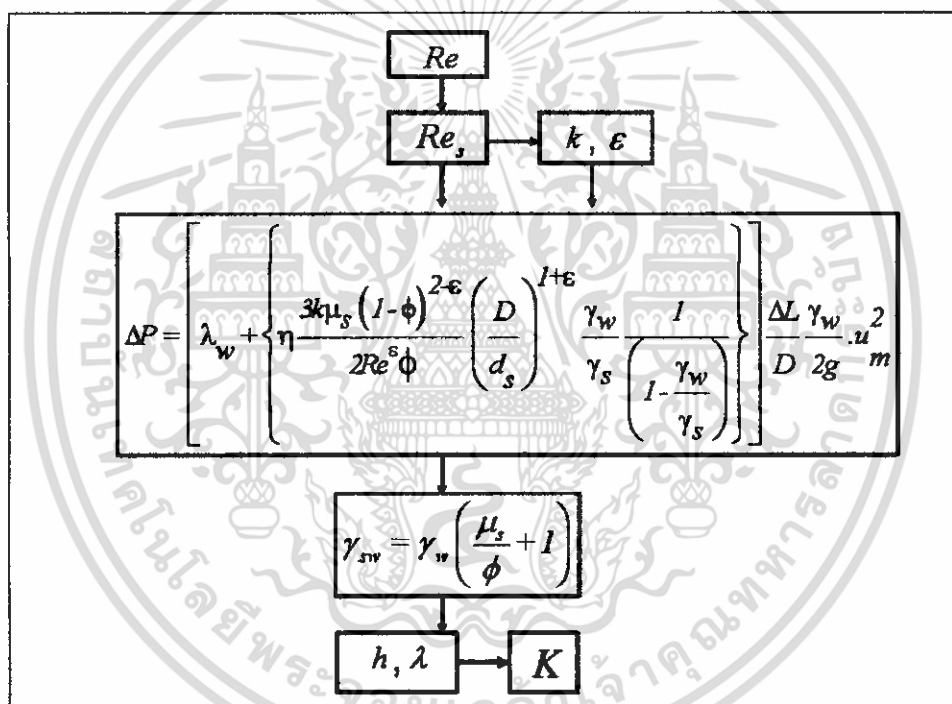
$$K = \left[ \lambda_w + \left\{ \eta \frac{3k\mu_s (1-\phi)^{2-\epsilon} \left(\frac{D}{d_s}\right)^{1+\epsilon}}{2Re^\epsilon \phi} \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \frac{1}{\left(\frac{1-\gamma_w}{\gamma_s}\right)} \right\} \right] \frac{\Delta L}{D} \quad (3.20)$$

อัตราการใช้ความดัน (Pressure drop ratio,  $\alpha$ )

$$\alpha = 1 + \eta \frac{3k\mu_s (1-\phi)^{2-\epsilon} \left(\frac{D}{d_s}\right)^{1+\epsilon}}{2\lambda_w Re^\epsilon \phi} \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \frac{1}{\left(\frac{1-\gamma_w}{\gamma_s}\right)} \quad (3.21)$$

### 3.3 การคำนวณการเปลี่ยนแปลงความดันและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลในท่อของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทราย

ในการคำนวณจะนำค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลองมาแทนลงในสมการ (3.19) เพื่อที่จะหาการเปลี่ยนแปลงความดัน ( $\Delta h$ ) ค่าแฟคเตอร์ความเสียดทาน ( $\lambda$ ) และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ( $K$ ) แล้วนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็ว ( $u_m$ ) กับค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน ( $\Delta h$ ) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็ว ( $u_m$ ) กับค่าแฟคเตอร์ความเสียดทาน ( $\lambda$ ) และ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็ว ( $u_m$ ) กับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ( $K$ ) ในการไหลของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทรายต่าง ๆ และในทุกส่วนผสมตามที่ต้องการ

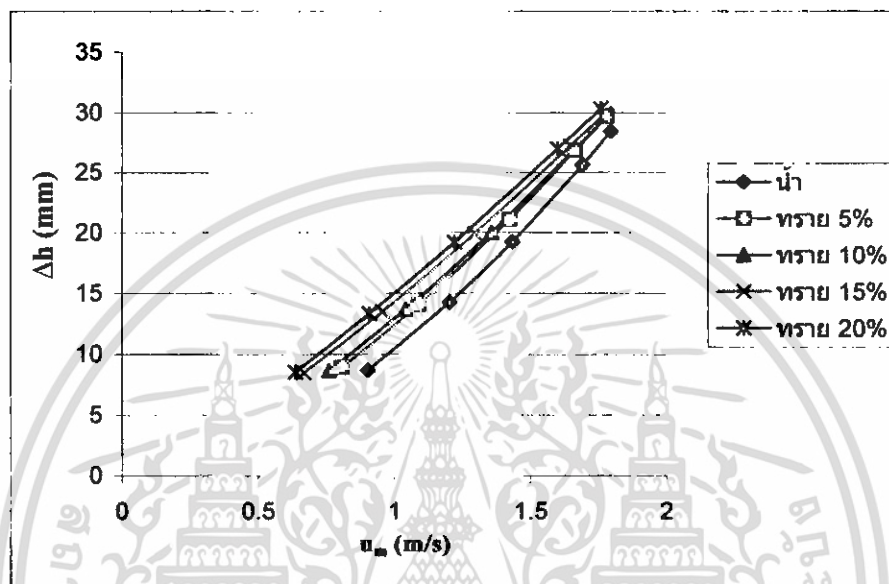


รูปที่ 3.3 Flow chart การคำนวณ

### 3.3.1 การคำนวณการเปลี่ยนแปลงความดัน

#### 3.3.1.1 การคำนวณการเปลี่ยนแปลงความดันของการไหลในท่อของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายที่ขนาดของทราย 0.15 มิลลิเมตร

กราฟแสดงผลการคำนวณทางทฤษฎีที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทราย 0.15 มิลลิเมตร

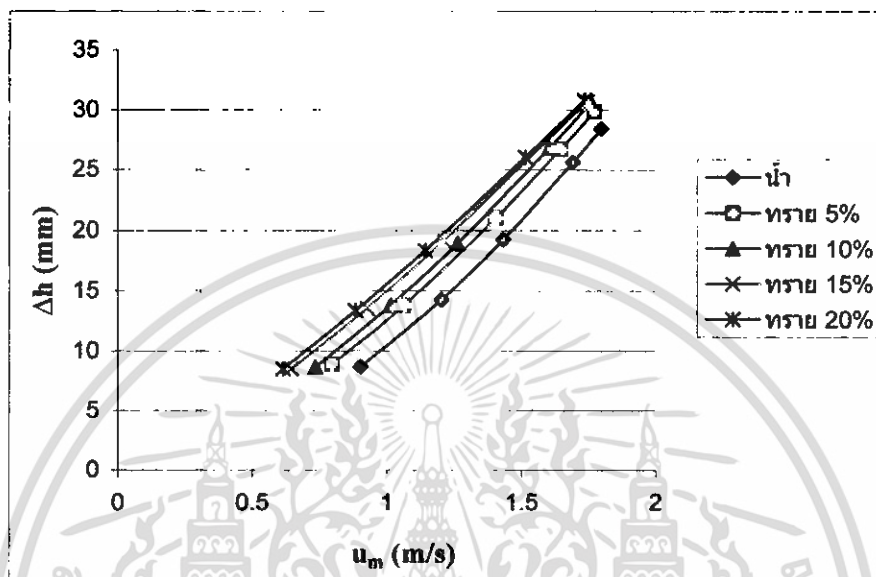


รูปที่ 3.4 แสดงความสัมพันธ์ Velocity กับ Head ในอัตราส่วนผสมต่างๆ

จากรูปที่ 3.4 แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าความเร็วเพิ่มขึ้น ค่าเปลี่ยนแปลงความดันก็จะเพิ่มขึ้น ด้วยซึ่งหมายความว่าค่าเปลี่ยนแปลงความดันแปรผันตรงกับความเร็วในทุก ๆ ส่วนผสม และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของทรายค่าเปลี่ยนแปลงความดันจะสูงขึ้น

**3.3.1.2 การคำนวณการเปลี่ยนแปลงความดันของการไหลในท่อของของไหลผสมระหว่าง น้ำกับทรายที่ขนาดของทราย 0.45 มิลลิเมตร**

กราฟแสดงผลคำนวณทางทฤษฎีที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทราย 0.45 มิลลิเมตร

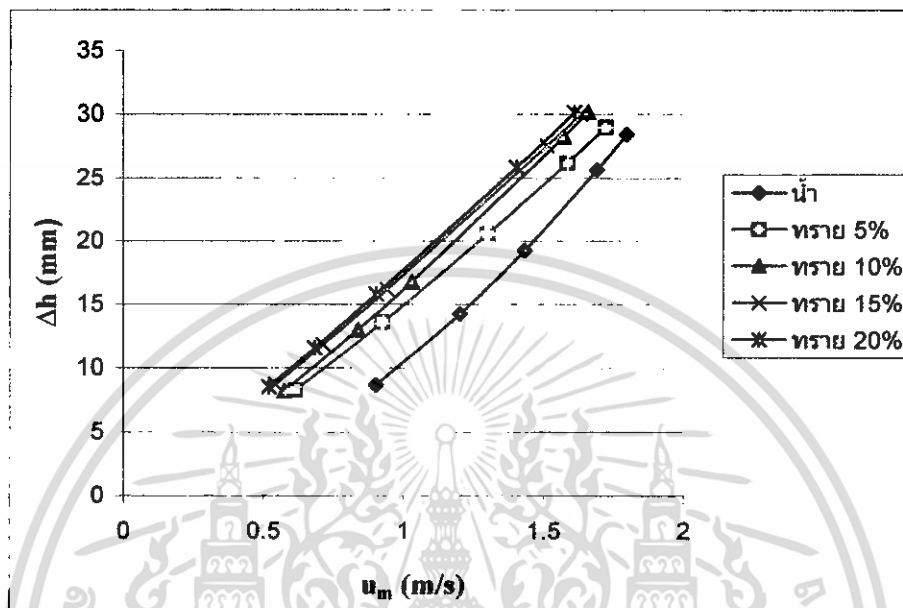


รูปที่ 3.5 แสดงความสัมพันธ์ Velocity กับ Head ในอัตราส่วนผสมต่างๆ

จากรูปที่ 3.5 แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าความเร็วเพิ่มขึ้น ค่าเปลี่ยนแปลงความดันก็จะเพิ่มขึ้น ด้วยซึ่งหมายความว่าค่าเปลี่ยนแปลงความดันแปรผันตรงกับความเร็วในทุก ๆ ส่วนผสม และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของทราย ค่าเปลี่ยนแปลงความดันจะสูงขึ้น

### 3.3.1.3 การคำนวณการเปลี่ยนแปลงความดันของการไหลในท่อของของไหลผสมระหว่าง น้ำกับทรายที่ขนาดของทราย 0.90 มิลลิเมตร

กราฟแสดงผลคำนวณทางทฤษฎีที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทราย 0.90 มิลลิเมตร

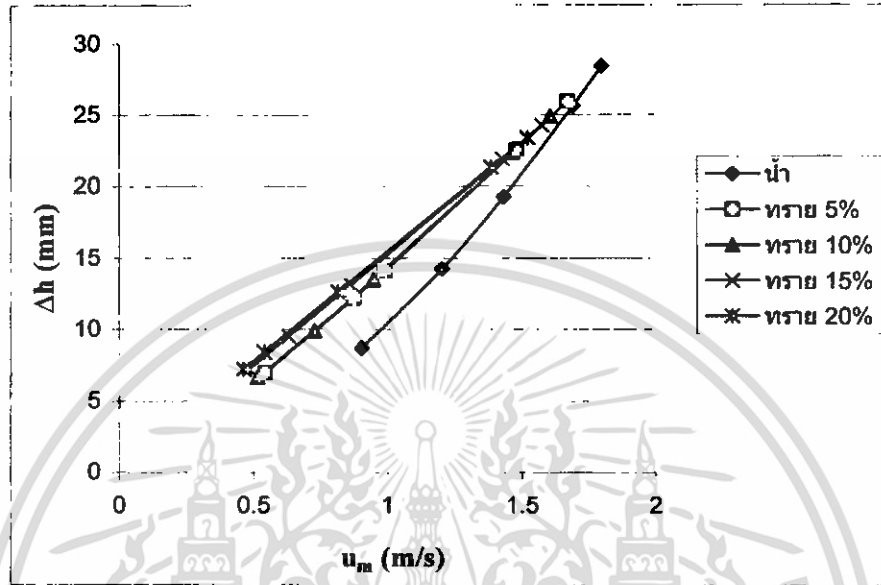


รูปที่ 3.6 แสดงความสัมพันธ์ Velocity กับ Head ในอัตราส่วนผสมต่างๆ

จากรูปที่ 3.6 แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าความเร็วเพิ่มขึ้น ค่าเปลี่ยนแปลงความดันก็จะเพิ่มขึ้น ด้วยซึ่งหมายความว่าค่าเปลี่ยนแปลงความดันแปรผันตรงกับความเร็วในทุก ๆ ส่วนผสม และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของทราย ค่าเปลี่ยนแปลงความดันจะสูงขึ้น

3.3.1.4 การคำนวณการเปลี่ยนแปลงความดันของการไหลในท่อของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายที่ขนาดของทราย 1.20 มิลลิเมตร

กราฟแสดงผลการคำนวณทางทฤษฎีที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทราย 1.20 มิลลิเมตร



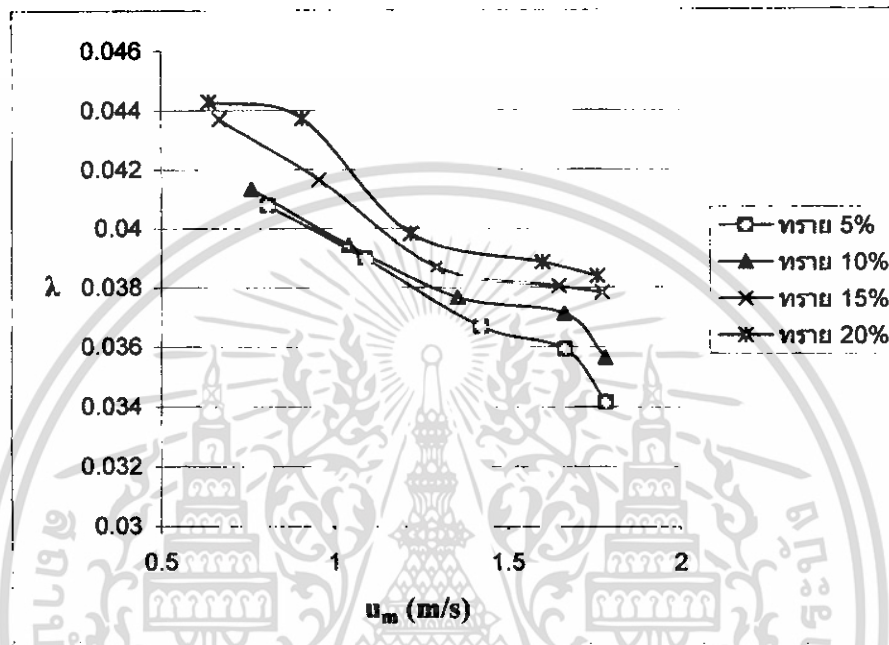
รูปที่ 3.7 แสดงความสัมพันธ์ Velocity กับ Head ในอัตราส่วนผสมต่างๆ

จากรูปที่ 3.7 แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าความเร็วเพิ่มขึ้น ค่าเปลี่ยนแปลงความดันก็จะเพิ่มขึ้น ด้วยซึ่งหมายความว่าค่าเปลี่ยนแปลงความดันแปรผันตรงกับความเร็วในทุก ๆ ส่วนผสม และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของทราย ค่าเปลี่ยนแปลงความดันจะสูงขึ้น

### 3.3.2 การกำหนดหาค่าแฟคเตอร์ความเสียดทาน

#### 3.3.2.1 การกำหนดหาค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานการไหลในท่อของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายที่ขนาดของทราย 0.15 มิลลิเมตร

กราฟแสดงค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานที่ขนาดของทราย 0.15 ม.ม กับความเร็ว

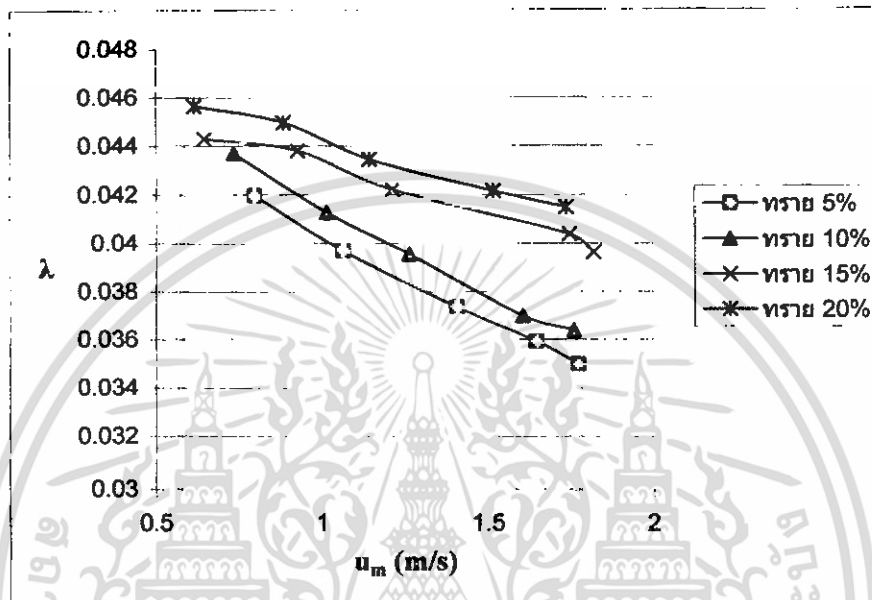


รูปที่ 3.8 แสดงความสัมพันธ์ Velocity กับ Coefficient ที่ขนาดของทราย 0.15 ม.ม

จากรูปที่ 3.8 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานจะลดลงและเมื่อส่วนผสมของทรายเพิ่มขึ้นค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานจะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งที่ความเร็วน้อยค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานของทรายจะมีผลมากกว่าค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานของน้ำแต่เมื่อความเร็วมากขึ้นค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานน้ำจะมีผลมากกว่าค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานของทราย

### 3.3.2.2 การคำนวณค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานการไหลในท่อของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายที่ขนาดของทราย 0.45 มิลลิเมตร

กราฟแสดงค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานที่ขนาดของทราย 0.45 ม.ม กับความเร็ว

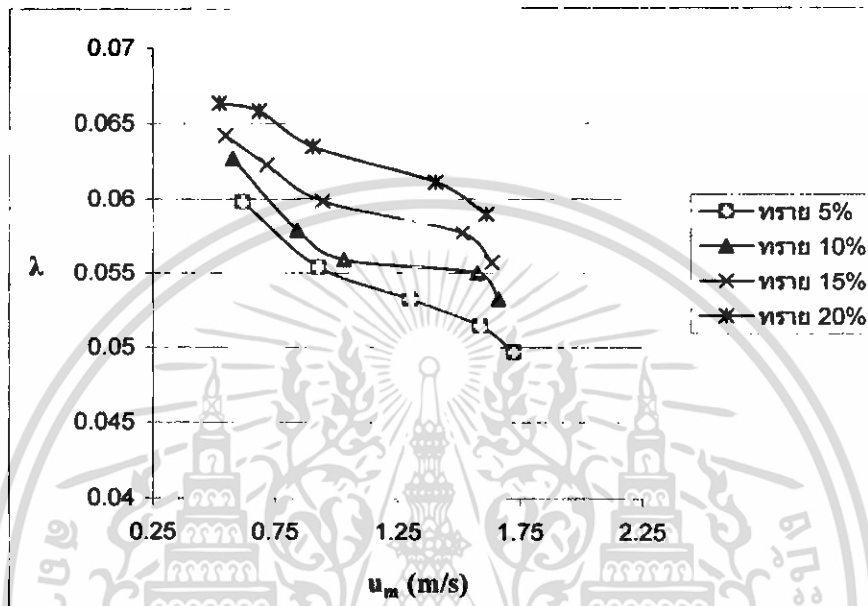


รูปที่ 3.9 แสดงความสัมพันธ์ Velocity กับ Coefficient ที่ขนาดของทราย 0.45 ม.ม

จากรูปที่ 3.9 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานจะลดลงและเมื่อส่วนผสมของทรายเพิ่มขึ้นค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานจะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งที่ความเร็วน้อยค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานของทรายจะมีผลมากกว่าค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานของน้ำแต่เมื่อความเร็วมากขึ้นค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานน้ำจะมีผลมากกว่าค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานของทรายและค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานที่ขนาดของทราย 0.45 ม.ม จะมากกว่าขนาดของทราย 0.15 ม.ม

### 3.3.2.3 การคำนวณค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานการไหลในท่อของของไหลผสม ระหว่างน้ำกับทรายที่ขนาดของทราย 0.90 มิลลิเมตร

กราฟแสดงค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานที่ขนาดของทราย 0.90 ม.ม เทียบกับความเร็ว

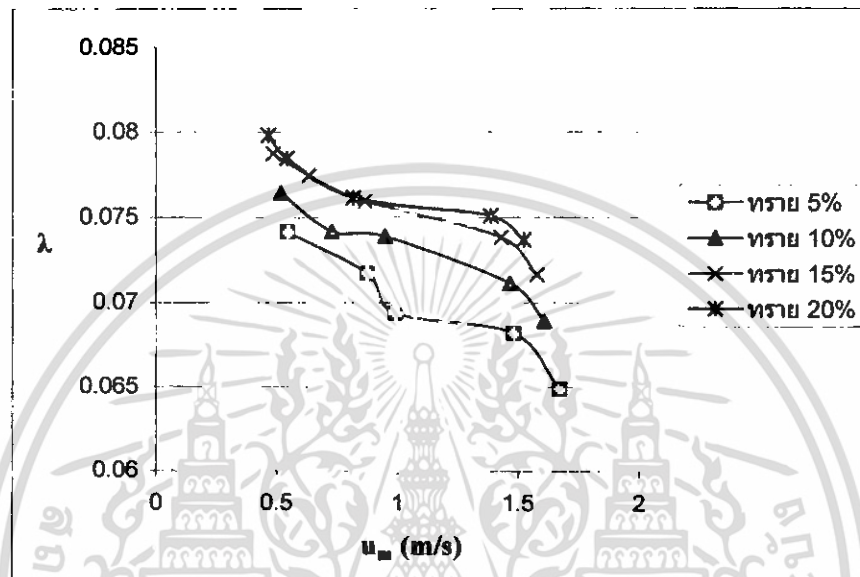


รูปที่ 3.10 แสดงความสัมพันธ์ Velocity กับ Coefficient ที่ขนาดของทราย 0.60 ม.ม

จากรูปที่ 3. แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานจะลดลงและเมื่อส่วนผสมของทรายเพิ่มขึ้นค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานจะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งที่ความเร็วน้อยค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานของทรายจะมีผลมากกว่าค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานของน้ำแต่เมื่อความเร็วมากขึ้นค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานน้ำจะมีผลมากกว่าค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานของทรายและค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานที่ขนาดของทราย 0.90 ม.ม จะมากกว่าขนาดของทราย 0.45 ม.ม

### 3.3.3.4 การคำนวณหาค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานการไหลในท่อของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายที่ขนาดของทราย 1.18 มิลลิเมตร

กราฟแสดงค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานที่ขนาดของทราย 1.20 ม.ม เทียบกับความเร็ว



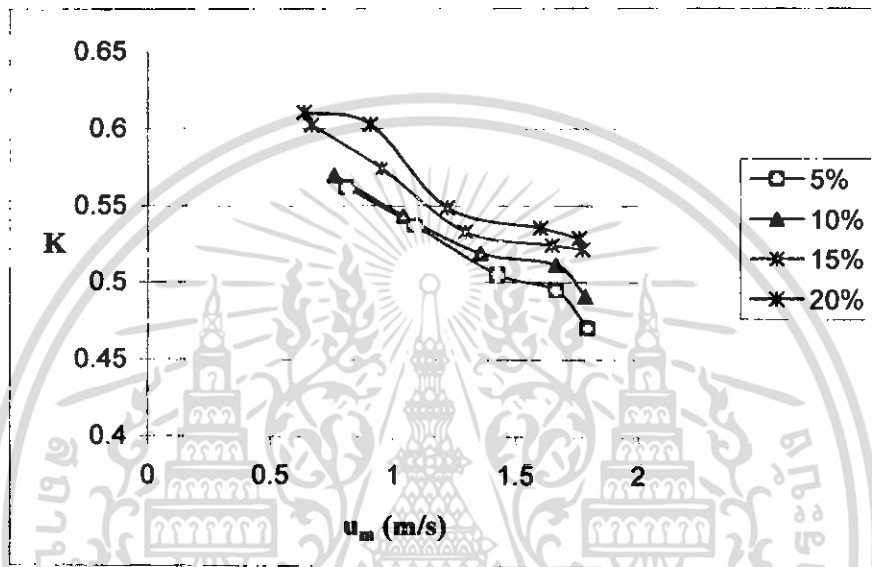
รูปที่ 3.11 แสดงความสัมพันธ์ Velocity กับ Coefficient ที่ขนาดของทราย 1.20 ม.ม

จากรูปที่ 3.11 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานจะลดลงและเมื่อส่วนผสมของทรายเพิ่มขึ้นค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานจะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งที่ความเร็วน้อยค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานของทรายจะมีผลมากกว่าค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานของน้ำแต่เมื่อความเร็วมากขึ้นค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานน้ำจะมีผลมากกว่าค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานของทรายและค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานที่ขนาดของทราย 1.20 ม.ม จะมากกว่าขนาดของทราย 0.90 ม.ม

### 3.3.3 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

#### 3.3.3.1 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลในท่อของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายที่ขนาดของทราย 0.15 มิลลิเมตร

กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ขนาดของทราย 0.15 ม.ม กับความเร็ว

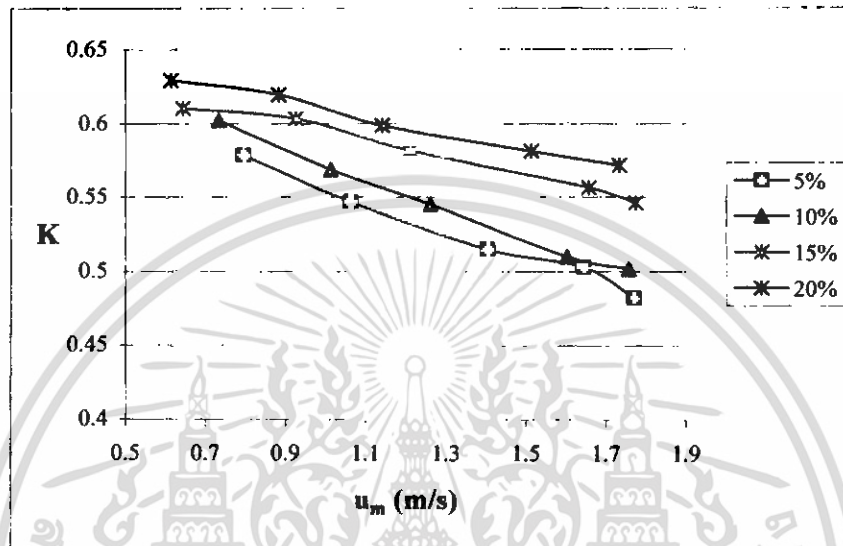


รูปที่ 3.12 แสดงความสัมพันธ์ Velocity กับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ทราย 0.15 ม.ม

จากรูปที่ 3.12 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะลดลง และเมื่อส่วนผสมของทรายเพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งที่ความเร็วน้อย ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของทรายจะมีผลมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของน้ำ แต่เมื่อความเร็วมากขึ้นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานน้ำจะมีผลมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานทราย

### 3.3.3.2 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลในท่อของของไหลผสม ระหว่างน้ำกับทรายที่ขนาดของทราย 0.45 มิลลิเมตร

กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ขนาดของทราย 0.45 ม.ม กับความเร็ว

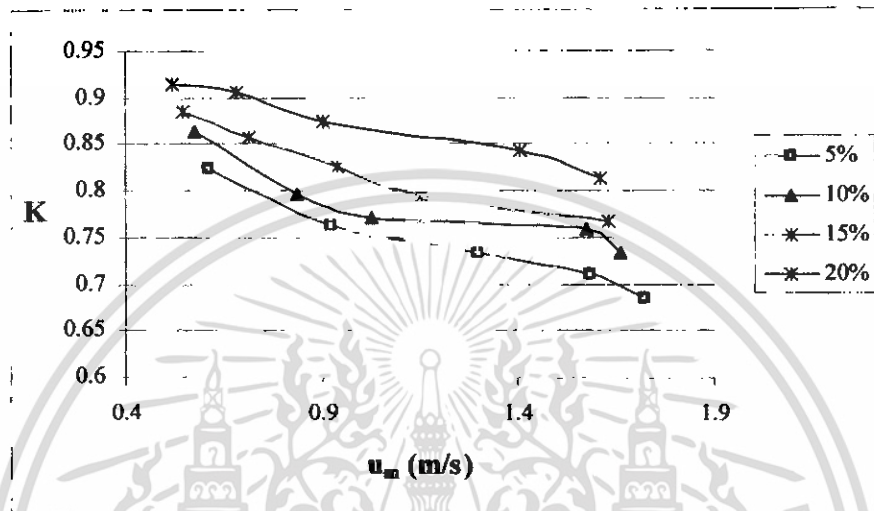


รูปที่ 3.13 แสดงความสัมพันธ์ Velocity ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ขนาดของทราย 0.45 ม.ม

จากรูปที่ 3.13 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะลดลง และเมื่อส่วนผสมของทรายเพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งที่ความเร็วน้อย ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของทรายจะมีผลมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของน้ำ แต่เมื่อความเร็วมากขึ้นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานน้ำจะมีผลมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของทรายและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ขนาดของทราย 0.45 ม.ม จะมากกว่าขนาดของทราย 0.15 ม.ม

### 3.3.3.3 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลในท่อของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายที่ขนาดของทราย 0.90 มิลลิเมตร

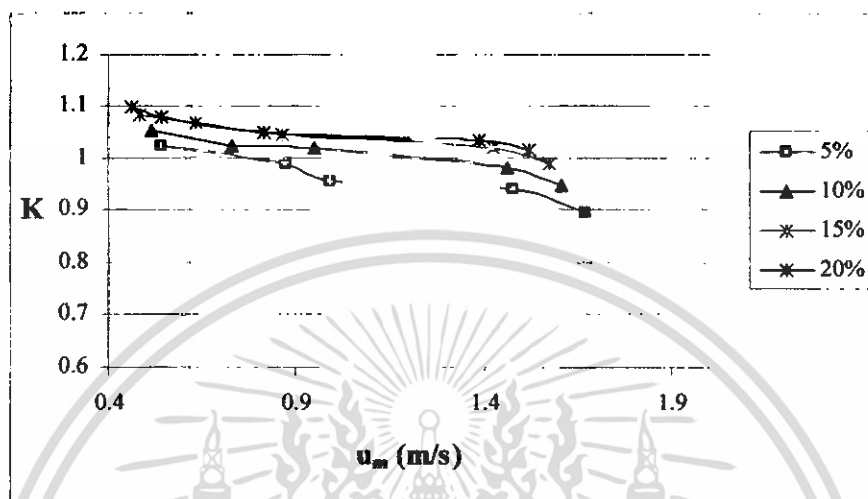
กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ขนาดของทราย 0.90 ม.ม กับความเร็ว



รูปที่ 3.14 แสดงความสัมพันธ์ Velocity ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ขนาดของทราย 0.90 ม.ม

จากรูปที่ 3.14 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะลดลง และเมื่อส่วนผสมของทรายเพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งที่ความเร็วต่ำ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของทรายจะมีผลมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของน้ำ แต่เมื่อความเร็วมากขึ้นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานน้ำจะมีผลมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของทราย และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ขนาดของทราย 0.90 ม.ม จะมากกว่าขนาดของทราย 0.450 ม.ม

### 3.3.3.4 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลในท่อของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายที่ขนาดของทราย 1.20 มิลลิเมตร

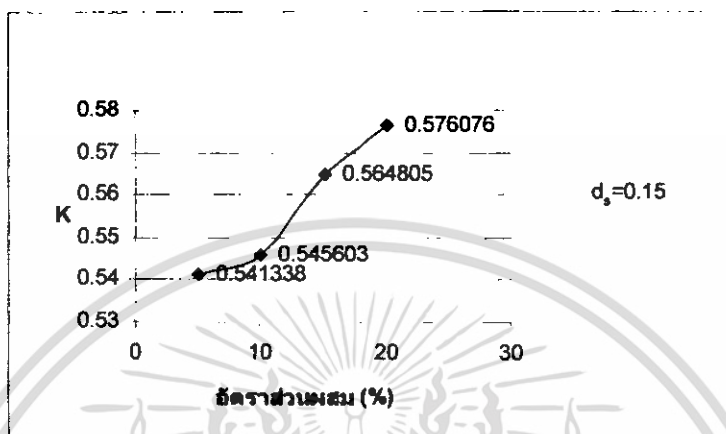


รูปที่ 3.15 แสดงความสัมพันธ์ Velocity ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ขนาดของทราย 1.20 ม.ม

จากรูปที่ 3.15 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะลดลง และเมื่อส่วนผสมของทรายเพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งที่ความเร็วน้อย ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของทรายจะมีผลมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของน้ำ แต่เมื่อความเร็วมากขึ้นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของน้ำจะมีผลมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของทรายและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ขนาดของทราย 1.20 ม.ม จะมากกว่าขนาดของทราย 0.90 ม.ม

### 3.3.4 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ความเร็วเฉลี่ย 1 m/s

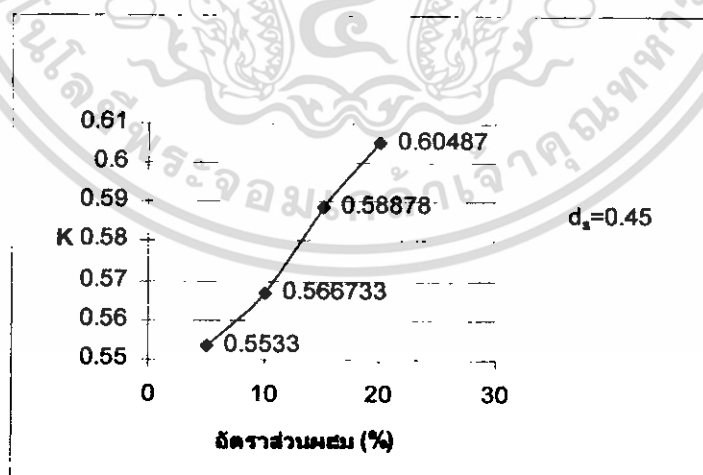
#### 3.3.4.1 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเมื่อพิจารณาที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทรงกลมเฉลี่ย 0.15 มม.



รูปที่ 3.16 แสดงความสัมพันธ์อัตราส่วนต่าง ๆ กับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ขนาด 0.15 มม.

จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อส่วนผสมยิ่งเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะเพิ่มขึ้นด้วย และจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่อัตราส่วน 20% ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะเท่ากับ 0.576076

#### 3.3.4.2 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเมื่อพิจารณาที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทรงกลมเฉลี่ย 0.45 มม.

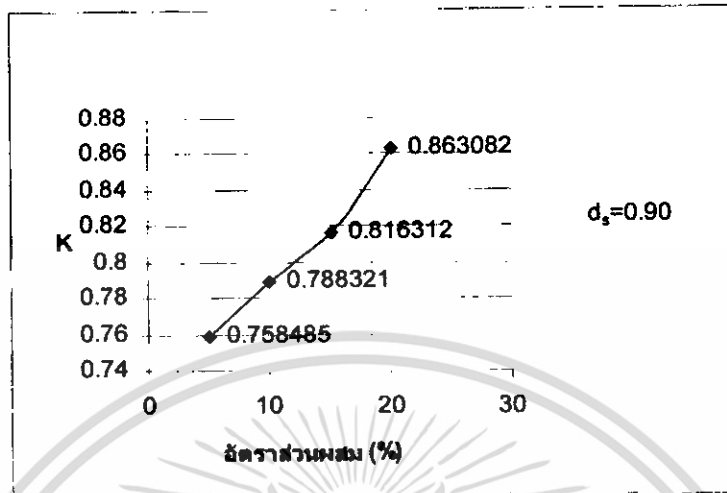


รูปที่ 3.17 แสดงความสัมพันธ์อัตราส่วนต่าง ๆ กับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ขนาด 0.45 มม.

จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อส่วนผสมยิ่งเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะเพิ่มขึ้นด้วย และจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่อัตราส่วน 20% ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะเท่ากับ 0.60487

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

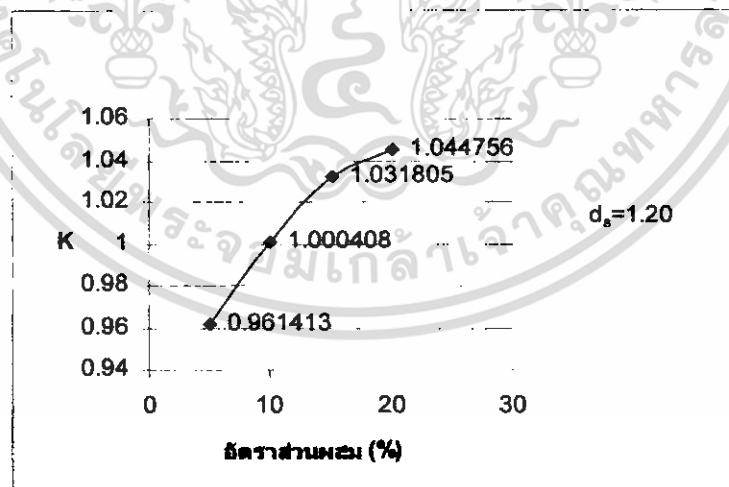
### 3.3.4.3 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเมื่อพิจารณาที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทรายเฉลี่ย 0.90 มม.



รูปที่ 3.18 แสดงความสัมพันธ์อัตราส่วนต่าง ๆ กับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ขนาด 0.90 มม.

จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อส่วนผสมยิ่งเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะเพิ่มขึ้นด้วย และจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่อัตราส่วน 20% ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะเท่ากับ 0.863082

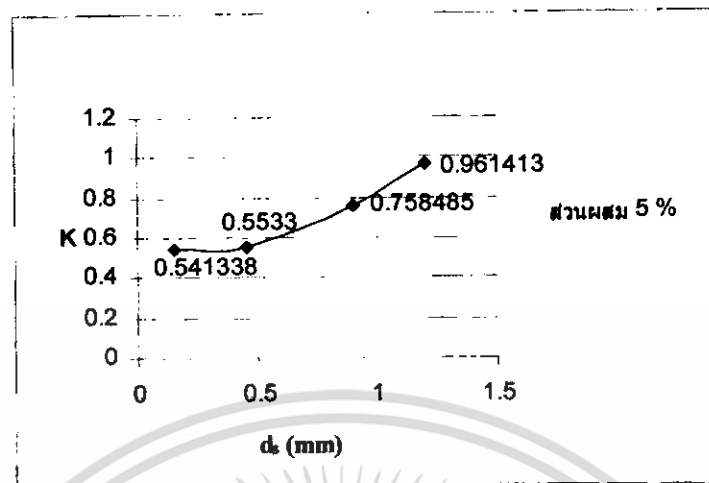
### 3.3.4.4 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเมื่อพิจารณาที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทรายเฉลี่ย 1.20 มม.



รูปที่ 3.19 แสดงความสัมพันธ์อัตราส่วนต่าง ๆ กับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ขนาด 1.20 มม.

จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อส่วนผสมยิ่งเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะเพิ่มขึ้นด้วย และจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่อัตราส่วน 20% ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะเท่ากับ 1.044756

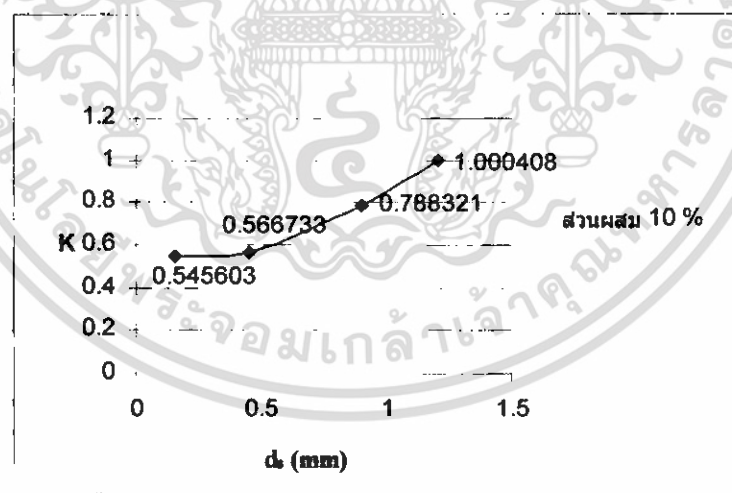
### 3.3.4.5 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนผสม 5%



รูปที่ 3.20 แสดงความสัมพันธ์ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย กับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ 5%

จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อยิ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะเพิ่มขึ้นด้วย และจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 1.20 มม ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะเท่ากับ 0.961413

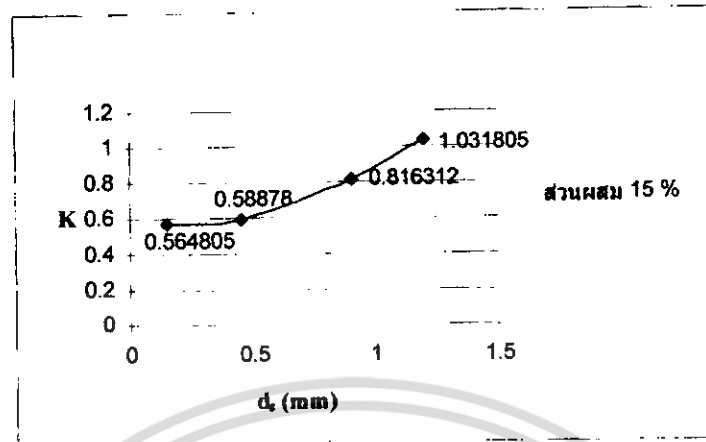
### 3.3.4.6 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนผสม 10%



รูปที่ 3.21 แสดงความสัมพันธ์ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย กับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ 10%

จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อยิ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะเพิ่มขึ้นด้วย และจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 1.20 มม ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะเท่ากับ 1.000408

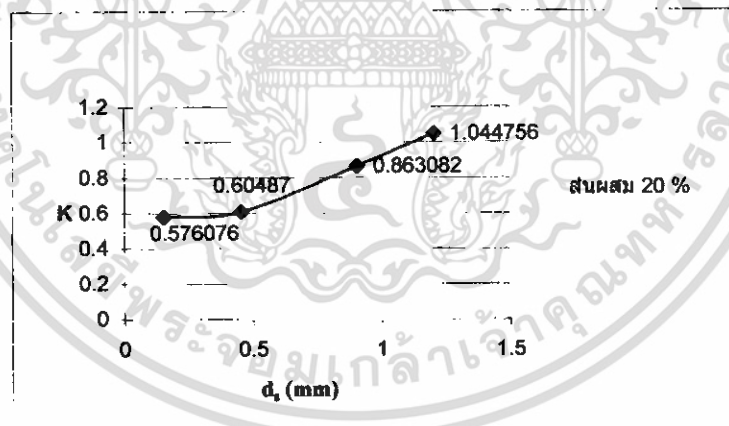
### 3.3.4.7 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนผสม 15%



รูปที่ 3.22 แสดงความสัมพันธ์ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย กับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ 15%

จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อยิ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะเพิ่มขึ้นด้วย และจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 1.20 ม.ม ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะเท่ากับ 1.031805

### 3.3.4.8 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนผสม 20%



รูปที่ 3.23 แสดงความสัมพันธ์ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย กับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ 20%

จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อยิ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะเพิ่มขึ้นด้วย และจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 1.20 ม.ม ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะเท่ากับ 1.044756

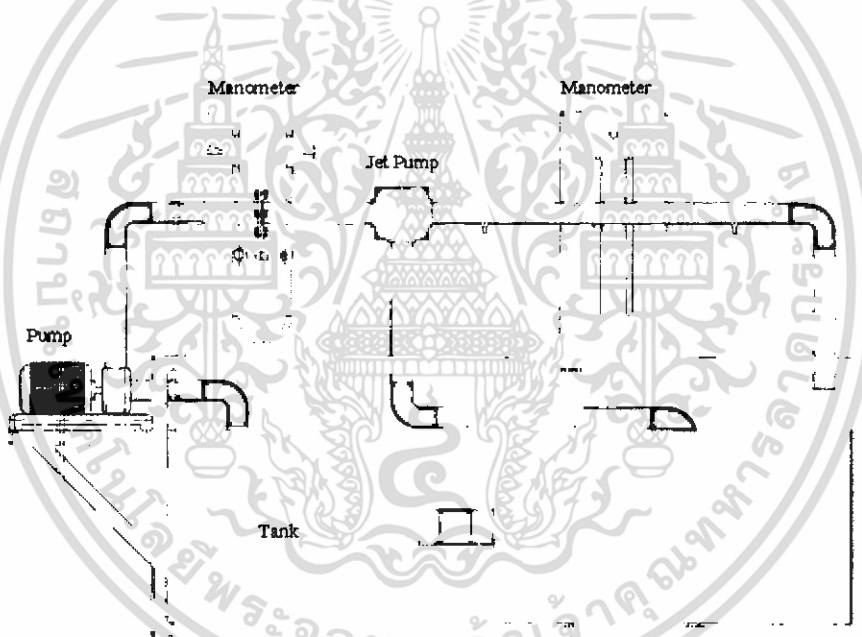
## บทที่ 4

# ชุดทดลองและวิธีการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน การไหลของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทราย

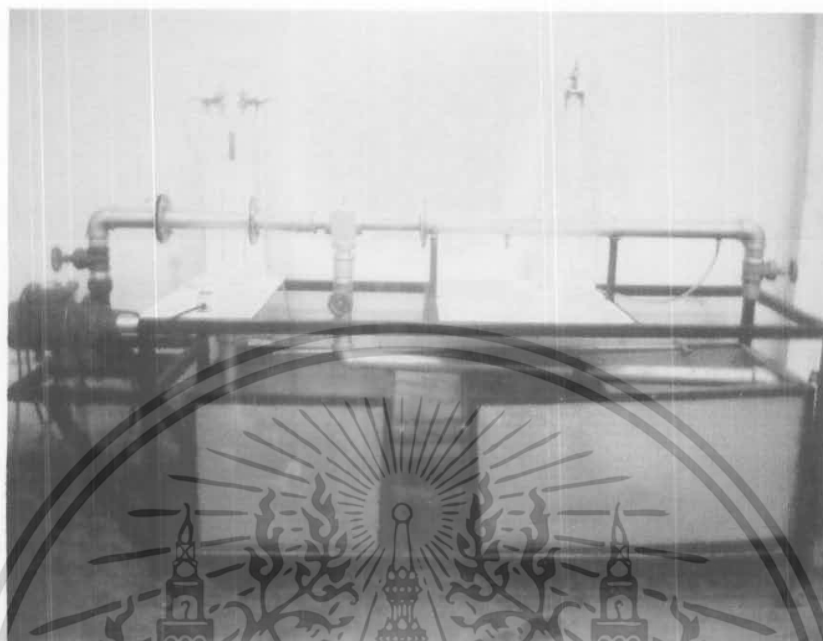
### 4.1 ชุดทดลองและอุปกรณ์การทดลอง

#### 4.1.1 ชุดทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

การทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายเพื่อเป็นการพิสูจน์สมการที่ได้ในวิเคราะห์ในบทที่ 3 ในการทดลองจะใช้น้ำผสมกับทราย โดยได้ออกแบบชุดทดลองไว้ดังรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 แสดงการออกแบบของชุดทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลในท่อ  
ของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทราย



รูปที่ 4.2 แสดงชุดทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลในท่อของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทราย

#### 4.1.2 ชุดทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

1. ปุ่มหอยโข่ง
2. ออร์ฟิซ
3. มานอมิเตอร์แบบหลอดรูปตัวยูหงาย
4. มานอมิเตอร์แบบหลอดรูปตัวยูคว่ำ
5. ถังผสมระหว่างน้ำกับทราย
6. เจ็ตปั๊ม
7. ถังวัดปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 เครื่องวัดอัตราการไหลและการสอบเทียบ

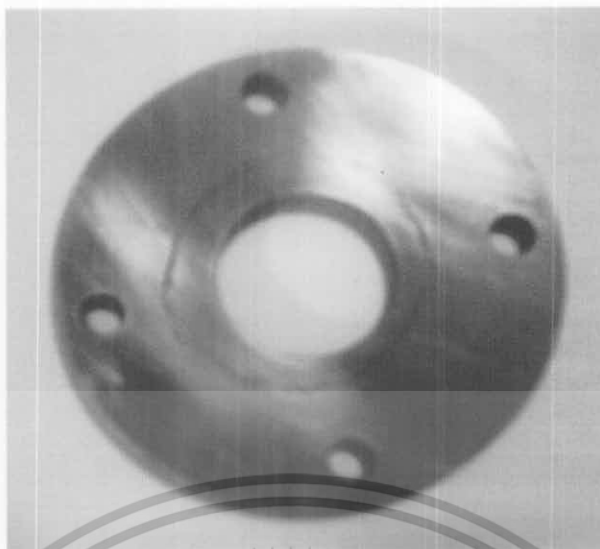
วิธีการหาอัตราการไหลของน้ำในโครงการนี้ ใช้มาตรวัดอัตราการไหลแบบแผ่นออริฟิซ เมื่อต้องการทราบค่าสมรรถนะของปั๊มที่อัตราการไหลต่างๆ ซึ่งจะสามารถทราบค่าอัตราการไหลได้จากการคูณค่าความสูงที่แตกต่างกันของของเหลวที่บรรจุอยู่ในมานอมิเตอร์ ซึ่งในที่นี้คือปรอท (Mercury) ดังรูปที่ 4.3

การสอบเทียบออริฟิซในโครงการนี้ใช้วิธีการชั่งน้ำหนัก (Weighing method) ซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐาน Japanese Industrial Standard (J.I.S.) ซึ่งแผ่นออริฟิซในโครงการนี้ใช้ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะเท่ากับ 22.86 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 การติดตั้งออริฟิซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 รูปแผ่นออริฟิซ

#### 4.2.1 อุปกรณ์ในการสอบเทียบออริฟิซ

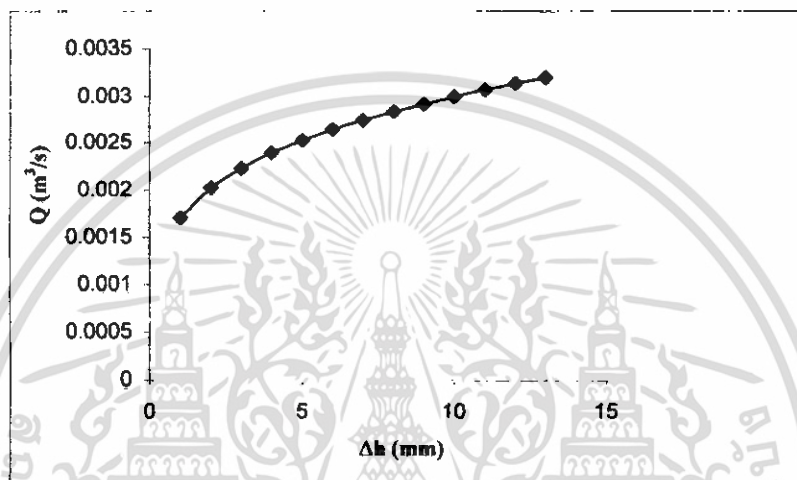
1. เครื่องชั่งน้ำหนัก
2. ถังรองน้ำ
3. นาฬิกาจับเวลา

#### 4.2.2 ขั้นตอนในการสอบเทียบออริฟิซ

1. จัดเตรียมอุปกรณ์ในการสอบเทียบ ซึ่งประกอบไปด้วย เครื่องชั่งน้ำหนัก ถังรองน้ำ และนาฬิกาจับเวลา
  2. ปรับความดันดักคร่อมระหว่างแผ่นออริฟิซ ซึ่งทำได้โดยการควบคุมอัตราการไหลผ่านทางวาล์วแล้วอ่านค่าความดันผ่านทางมานอมิเตอร์
  3. ในการทดลองครั้งแรก ได้เลือกควบคุมให้ค่าความดันมีค่าเท่ากับ 4 mm-Hg ทำการรองน้ำที่ผ่านออกมาจากแผ่นออริฟิซ โดยใช้เวลาทั้งหมด 10 วินาที
  4. นำน้ำที่ได้จากขั้นตอนที่ 4 ไปชั่งน้ำหนัก แล้วจดบันทึกค่าที่ได้เอาไว้ โดยทำเช่นนี้ 5 ครั้งแล้วนำผลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยออกมา
  5. ทำการปรับวาล์วเพื่อเพิ่มความดันดักคร่อมระหว่างแผ่นออริฟิซ ให้เป็น 6, 8, 10, 12 และ 14 mm-Hg ตามลำดับ แล้วย้อนกลับไปทำตามขั้นตอนที่ 3 อีกครั้ง โดยทำจนกว่าจะได้ค่าตามที่ต้องการครบทุกค่า
- หมายเหตุ** ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความแตกต่างของความดันนั้นจะต้องควบคุมอุณหภูมิของน้ำไม่ให้เปลี่ยนแปลงไปมากนัก

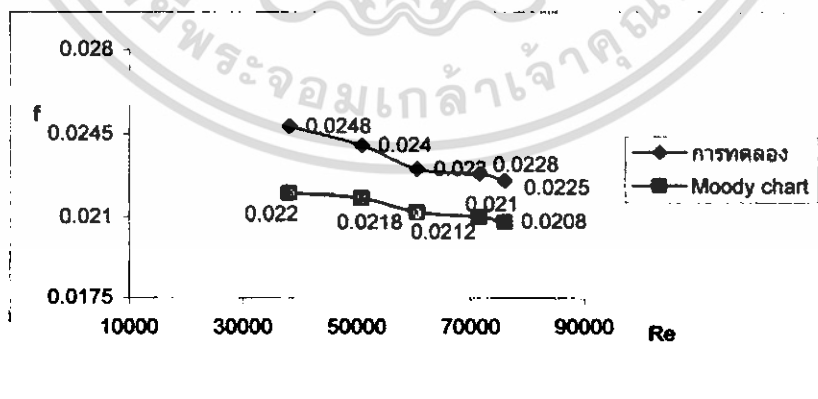
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการทดลองจนครบทุกค่าความดันตามที่ต้องการแล้ว นำผลที่ได้จากการทดลองมาหาความสัมพันธ์ระหว่าง  $\Delta h$  ที่มานอมิเตอร์ กับ  $Q$  โดยใช้ระเบียบวิธี Least – Squares Regression แบบ Linearization of Nonlinear Relationships จากวิชา Engineering Computation ได้สมการความสัมพันธ์เป็นสมการกำลังสอง  $\bar{y} = 0.0017002\bar{x}^{(0.245127)}$  จากนั้นนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์โดยให้  $\Delta h$  เป็นแกน x และ  $Q$  เป็นแกน y ได้ดังรูปที่ 4.5 ซึ่งเมื่อทราบ  $\Delta h$  ที่มานอมิเตอร์ ก็จะทราบค่าอัตราการไหลของน้ำจากตารางหรือจากกราฟของการสอบเทียบออริฟิซ



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลที่ได้จากการสอบเทียบออริฟิซ

จากการทดลอง นำค่าความเร็ว(u) ที่ได้จากการทดลองหาค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์เปรียบเทียบกับแฟลคเตอร์ความเสียดทานจากการทดลองกับ Moody chart ทางทฤษฎี



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับ Moody chart

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3 วิธีการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในท่อตรงแนวราบและผลการทดลอง

ก่อนที่จะทำการทดลองนั้นจะมีการเลือกขนาดของเม็ดทรายที่ขนาดต่างๆ โดยใช้เครื่องร่อนทรายจะใช้ทรายที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15, 0.45, 0.90 และ 1.20 มิลลิเมตร



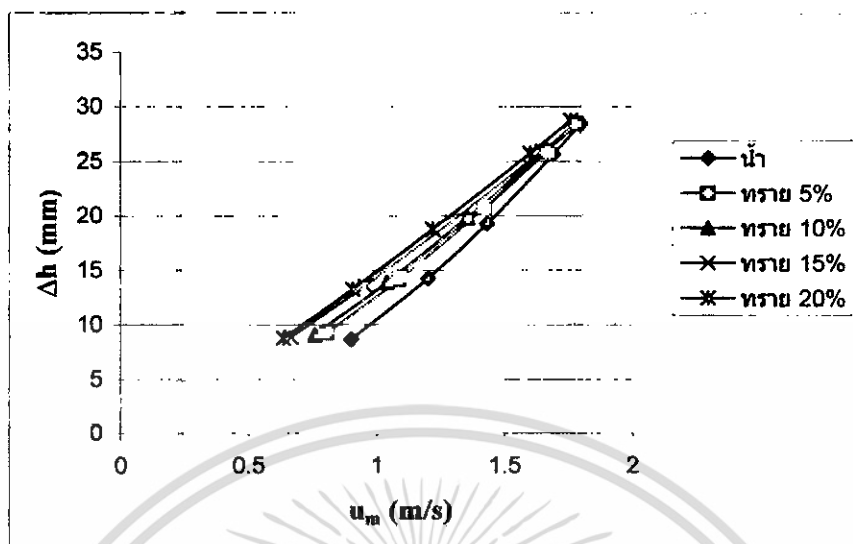
รูปที่ 4.7 แสดงรูปเครื่องร่อนทราย

##### 4.3.1 วิธีทดลองการเปลี่ยนแปลงความดันของการไหลในท่อของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายที่ขนาดของทราย 0.15 มิลลิเมตร

1. เริ่มต้นใช้เม็ดทรายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 มิลลิเมตร ทำการผสมอัตราส่วนเม็ดทราย 5% กับน้ำโดยน้ำหนัก ใช้เจ็ดยัดเป็นตัวผสมให้ของผสมไหลผ่านท่อในตรงแนวราบ โดยใช้ค่าความเร็วเริ่มต้นที่อ่านได้จากมานอมิเตอร์ของออริฟิซที่ความสูงแตกต่าง 4 mm-Hg แล้วบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจากมานอมิเตอร์แบบหลอดรูปตัวยูคว่า
2. ทำการเปลี่ยนแปลงความเร็วให้มีค่าความสูงแตกต่างจากมานอมิเตอร์ของออริฟิซเพิ่มขึ้นเป็น 6, 8, 10, 12 และ 14 mm-Hg ตามลำดับ แล้วบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจากมานอมิเตอร์แบบหลอดรูปตัวยูคว่า
3. ทำการทดลองเหมือนข้อ 1 และข้อ 2 โดยเปลี่ยนปริมาณของทรายที่อัตราส่วนผสมเป็น 10, 15 และ 20 % ตามลำดับ แล้วบันทึกข้อมูล
4. นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน ( $h$ ) กับความเร็ว ( $u_m$ ) ดังรูปที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงผลการทดลองที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทรายขนาด 0.15 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ Velocity กับ Head ในอัตราส่วนผสมต่างๆ

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจะเพิ่มขึ้น และที่อัตราส่วนผสมน้อยค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจะใกล้เคียงกับกราฟน้ำ โดยที่อัตราส่วนผสมยิ่งเพิ่มขึ้นค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจะเพิ่มขึ้น

#### 4.3.2 วิธีทดลองการเปลี่ยนแปลงความดันของการไหลในท่อของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายที่ขนาดของทราย 0.30 มิลลิเมตร

1. เริ่มต้นใช้เม็ดทรายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 มิลลิเมตร ทำการผสมอัตราส่วนเม็ดทราย 5% กับน้ำโดยน้ำหนัก ใช้เจ็ทปั๊มเป็นตัวผสมให้ของผสมไหลผ่านท่อในแนวราบ โดยใช้ค่าความเร็วเริ่มต้นที่อ่านได้จากมานอมิเตอร์ของออริฟิซที่ความสูงแตกต่าง 4 mm-Hg แล้วบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจากมานอมิเตอร์แบบหลอดรูปตัวยูคว่า

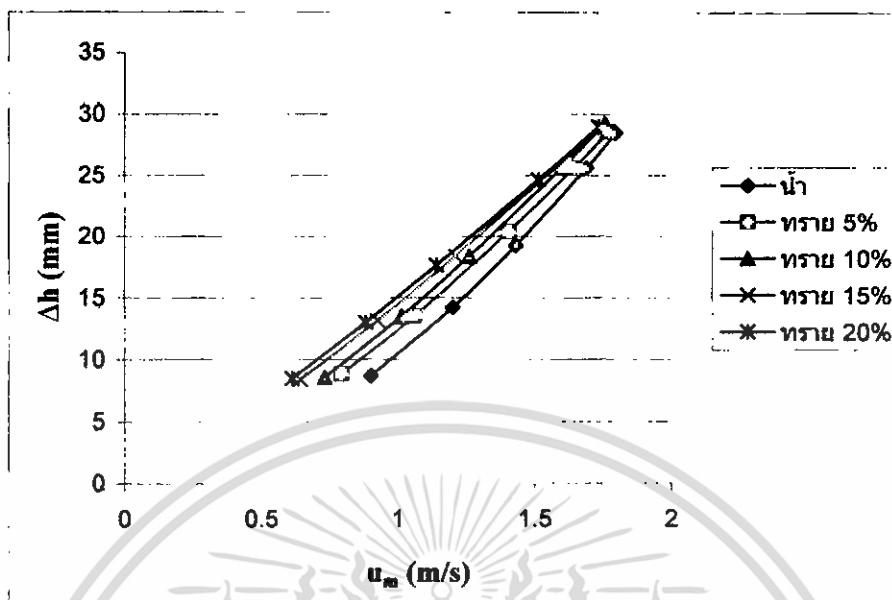
2. ทำการเปลี่ยนแปลงความเร็วให้มีค่าความสูงแตกต่างจากมานอมิเตอร์ของออริฟิซเพิ่มขึ้นเป็น 6, 8, 10, 12 และ 14 mm-Hg ตามลำดับ แล้วบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจากมานอมิเตอร์แบบหลอดรูปตัวยูคว่า

3. ทำการทดลองเหมือนข้อ 1 และข้อ 2 โดยเปลี่ยนปริมาณของเม็ดทรายที่อัตราส่วนผสมเป็น 10, 15 และ 20 % ตามลำดับ แล้วบันทึกข้อมูล

4. นำข้อมูลที่ได้ออกมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน ( $h$ ) กับความเร็ว ( $u_m$ ) ดังรูปที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงผลการทดลองที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทราย 0.30 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ Velocity กับ Head ในอัตราส่วนผสมต่างๆ

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นค่าเปลี่ยนแปลงความดันจะเพิ่มขึ้น และที่อัตราส่วนผสมน้อยค่าเปลี่ยนแปลงความดันจะใกล้เคียงกับเส้นน้ำ โดยที่อัตราส่วนผสมยิ่งเพิ่มขึ้นค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจะเพิ่มขึ้น

#### 4.3.3 วิธีทดลองการเปลี่ยนแปลงความดันของการไหลในท่อของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายที่ขนาดของทราย 0.60 มิลลิเมตร

1. เริ่มต้นใช้เม็ดทรายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 มิลลิเมตร ทำการผสมอัตราส่วนเม็ดทราย 5% กับน้ำโดยน้ำหนัก ใช้เจ็ทปั๊มเป็นตัวผสมให้ของผสมไหลผ่านท่อในแนวราบ โดยใช้ค่าความเร็วเริ่มต้นที่อ่านได้จากมานอมิเตอร์ของออริฟิซที่ความสูงแตกต่าง 4 mm-Hg แล้วบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจากมานอมิเตอร์แบบหลอดรูปตัวยูคว่า

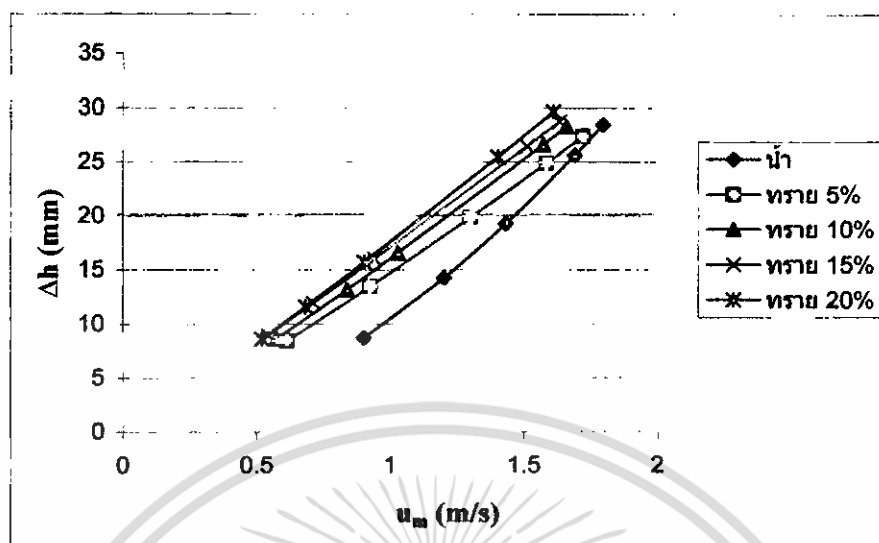
2. ทำการเปลี่ยนแปลงความเร็วให้มีค่าความสูงแตกต่างจากมานอมิเตอร์ของออริฟิซเพิ่มขึ้นเป็น 6, 8, 10, 12 และ 14 mm-Hg ตามลำดับ แล้วบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจากมานอมิเตอร์แบบหลอดรูปตัวยูคว่า

3. ทำการทดลองเหมือนข้อ 1 และข้อ 2 โดยเปลี่ยนปริมาณของเม็ดทรายที่อัตราส่วนผสมเป็น 10, 15 และ 20 % ตามลำดับ แล้วบันทึกข้อมูล

4. นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน ( $h$ ) กับความเร็ว ( $u_m$ ) ดังรูปที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงผลการทดลองที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทราย 0.60 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ Velocity กับ Head ในอัตราส่วนผสมต่างๆ

จากรูปที่ 4.10 ค่าเปลี่ยนแปลงความดันของอัตราส่วนต่างๆจะเริ่มออกห่างจากค่าเปลี่ยนแปลงความดันของน้ำ โดยที่อัตราส่วนผสมยิ่งเพิ่มขึ้นค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจะเพิ่มขึ้นจากการทดลองอัตราส่วนผสมของทรายที่ใช้ผสมตั้งแต่ 5%, 10%, 15% และ 20% กราฟจะมีค่าใกล้เคียงกันที่สถานะเริ่มต้นทำการทดลอง

#### 4.3.4 วิธีทดลองการเปลี่ยนแปลงความดันของการไหลในท่อของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายที่ขนาดของทราย 1.18 มิลลิเมตร

1. เริ่มต้นใช้เม็ดทรายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.18 มิลลิเมตร ทำการผสมอัตราส่วนเม็ดทราย 5% กับน้ำ โดยน้ำหนัก ใช้เจ็ทปั๊มเป็นตัวผสมให้ของผสมไหลผ่านท่อในแนวราบ โดยใช้ค่าความเร็วเริ่มต้นที่อ่านได้จากมานอมิเตอร์ของออริฟิซที่ความสูงแตกต่าง 4 mm-Hg แล้วบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจากมานอมิเตอร์แบบหลอดรูปตัวยูคว่า

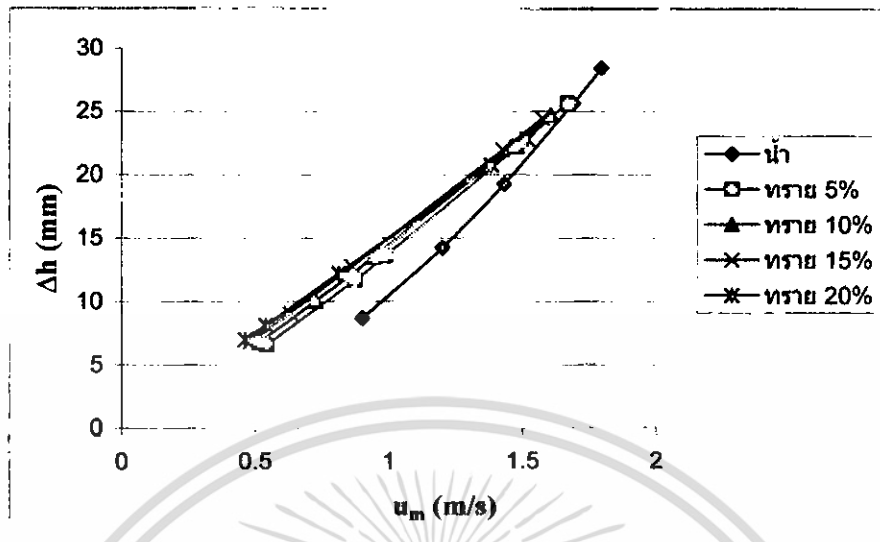
2. ทำการเปลี่ยนแปลงความเร็วให้มีค่าความสูงแตกต่างจากมานอมิเตอร์ของออริฟิซเพิ่มขึ้นเป็น 6, 8, 10, 12 และ 14 mm-Hg ตามลำดับ แล้วบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจากมานอมิเตอร์แบบหลอดรูปตัวยูคว่า

3. ทำการทดลองเหมือนข้อ 1 และข้อ 2 โดยเปลี่ยนปริมาณของเม็ดทรายที่อัตราส่วนผสมเป็น 10, 15 และ 20 % ตามลำดับ แล้วบันทึกข้อมูล

4. นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน ( $h$ ) กับความเร็ว ( $u_m$ ) ดังรูปที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงผลการทดลองที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทราย 1.18 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ Velocity กับ Head ในอัตราส่วนผสมต่างๆ

จากรูปที่ 4.11 ค่าเปลี่ยนแปลงความดันของอัตราส่วนต่างๆ จะเริ่มออกห่างจากค่าเปลี่ยนแปลงความดันของน้ำ โดยที่อัตราส่วนผสมยิ่งเพิ่มขึ้นค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจะเพิ่มขึ้น ในส่วนของค่าความเร็วยิ่งความเร็วเพิ่มขึ้นค่าการเปลี่ยนแปลงความดันเพิ่มขึ้นจากการทดลองอัตราส่วนผสมของเม็ดทรายที่ใช้ผสมตั้งแต่ 5%, 10%, 15% และ 20% กราฟจะมีค่าใกล้เคียงกัน

## บทที่ 5

### สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 5.1 สรุปผลการคำนวณและการทดลอง

ผลการวิเคราะห์สมการทางการคำนวณ จากข้อมูลการคำนวณนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน ( $\Delta h$ ), ค่าแฟกเตอร์ความเสียดทาน ( $\lambda$ ), และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ( $K$ ), กับค่าความเร็วเฉลี่ย ( $u_m$ ) จะเห็นได้ว่าพฤติกรรมการไหลของของผสม เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทรายที่ 0.15, 0.45, 0.90 และ 1.20 มิลลิเมตร และเมื่อพิจารณาอัตราส่วนผสมของทรายที่ 5%, 10%, 15% และ 20% จะทำให้ค่าแฟกเตอร์ความเสียดทาน, ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจะเพิ่มขึ้น

ผลการทดลองด้วยชุดทดสอบ จากข้อมูลการคำนวณนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน ( $\Delta h$ ), ค่าแฟกเตอร์ความเสียดทาน ( $\lambda$ ), และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ( $K$ ), กับค่าความเร็วเฉลี่ย ( $u_m$ ) จะเห็นได้ว่าพฤติกรรมการไหลของของผสม เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทรายที่ 0.15, 0.45, 0.90 และ 1.20 มิลลิเมตร และเมื่อพิจารณาอัตราส่วนผสมของทรายที่ 5%, 10%, 15% และ 20% จะทำให้ค่าแฟกเตอร์ความเสียดทาน, ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจะเพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบผลจากการคำนวณและผลจากการทดลอง จะเห็นว่ามีผลสอดคล้องกัน โดยผลจากการคำนวณและผลจากการทดลองมีความแตกต่างกันประมาณ 15% อาจเป็นสาเหตุมาจาก ขั้นตอนการปฏิบัติงาน, สมรรถนะของอุปกรณ์ และการติดตั้งอุปกรณ์ เป็นต้น

#### 5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

1. ในการอ่านค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่மானอมิเตอร์จะสั้นเล็กน้อยจึงทำให้ค่าที่อ่านได้นั้นคลาดเคลื่อนไปบ้างถึงแม้จะทำการทดสอบหลายครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ยก็ตาม
2. ในการหาค่าความเร็วของส่วนผสมรวมระหว่างน้ำกับเม็ดทรายจะใช้วิธีการจับเวลาแล้วชั่งน้ำหนักของส่วนผสมรวม อาจมีความคลาดเคลื่อนของการชั่งน้ำหนักที่ได้ไปบ้างถึงแม้จะทำการทดสอบหลายครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ยก็ตาม
3. ในการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆอาจทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องมือและอุปกรณ์ทำงานไม่เต็มที่ เนื่องจากขนาดและระยะการติดตั้งมีพื้นที่จำกัด
4. ในการผสมของของไหลผสมระหว่างน้ำกับเม็ดทรายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดทรายที่ค่อนข้างใหญ่ จะควบคุมปริมาณของส่วนผสมให้สม่ำเสมอทั่วทั้งระบบเป็นไปได้ยากพอสมควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] วิบูลย์ บุญยชโรกุล, “ปั๊มและระบบสูบน้ำ”, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 1986
- [2] ฉัตรชัย มานะดี, โคคิจิ โอนิชิ, “คู่มือการใช้งานปั๊มชนิดทันทันต่อการกัดกร่อน”, ปี พ.ศ. 2542
- [3] กัทราภรณ์ เมฆพฤกษาวงศ์, วัชระ เพิ่มชาติ, “เครื่องสูบน้ำในงานวิศวกรรม”, ปี พ.ศ. 2543
- [4] Anthony Esposito, Fluid Mechanics with Applications, Prentice Hall, Inc, 1988
- [5] EBARA Hatakeyama Memorial Fund, “Fundamentals of Pump Technology”, Doc No.EHMF-7D230, 1997
- [6] Japanese Standards Association “Measurement of Fluid Flow by Means of Orifice Plates”, Nozzles and Venturi Tubes
- [7] Bruce R. Munson, Fluid of Fluid Mechanics, John Wiley & Sons, Inc, 20002
- [8] Yunus A.Cengel, Thermodynamics, Mc Graw Hill, 2004



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## การหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลในท่อ ของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทราย<sup>1</sup>

.....  
ทวีศักดิ์ จันทอง<sup>2</sup>, สุธีระ ชีแก้ว<sup>2</sup>, อาคม สุวรรณบูรณ์<sup>2</sup>, จำลอง ปราบแก้ว<sup>3</sup>, มณฑล ใจกุล<sup>3</sup>

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นกรนำเสนอวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลในท่อแนวราบของของไหลผสมที่มีการผสมกันระหว่างน้ำกับทราย โดยวิธีการวิเคราะห์ทางสมการที่ใช้ในการคำนวณแล้วนำผลการคำนวณที่ได้ไปเทียบกับผลการทดลอง การศึกษาจะพิจารณาถึงผลของปริมาณส่วนผสมของทรายที่ 5, 10, 15 และ 20% ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของทรายที่ 0.15, 0.45, 0.90 และ 1.20 มิลลิเมตร จากนั้นก็นำผลการคำนวณและผลการทดลองมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียความดันกับความเร็วเฉลี่ยการไหลในท่อ กราฟดังกล่าวสามารถใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายได้ จากการศึกษาพบว่าค่าความเร็วเฉลี่ยการไหลเท่ากันคือ 1 m/s โดยที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของทราย 0.45 มิลลิเมตรที่อัตราส่วนผสมของทราย 5% จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ( $K$ ) = 0.5533 และที่อัตราส่วนผสมของทราย 20% จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ( $K$ ) = 0.6049 ในขณะที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของทราย 0.90 มิลลิเมตรที่อัตราส่วนผสมของทราย 5% จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ( $K$ ) = 0.7585 และที่อัตราส่วนผสมของทราย 20% จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ( $K$ ) = 1.0450 จะแสดงให้เห็นว่าเมื่อส่วนผสมของทรายและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยมากขึ้นจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ( $K$ ) สูงขึ้น

### Abstract

This project present about flow friction coefficient in the horizontal line pipe of flow that combine with water and sand. By searching an equation for calculate then use the result from an equation compare with result from the experiment. A study considering about volume of sand result at 5, 10, 15, and 20 percent and mean of sand diameter that 0.15, 0.45, 0.90, 1.20 millimeter. After that using the result to plot graph show the relation between head loss with flow speed in the pipe, This graph can using for measuring friction coefficient. From result study to find that flow speed to be the same as 1 m/s by mean of sand diameter that 0.45 millimeter volume of sand result at 5 percent friction coefficient ( $K$ ) = 0.5533 and volume of sand result of 20 percent friction coefficient ( $K$ ) = 0.6049. While mean of sand diameter that 0.90 millimeter volume of sand result at 5 percent friction coefficient ( $K$ ) = 0.7585 and volume of sand result of 20 percent friction coefficient ( $K$ ) = 1.0450. From result study to find that about volume of sand result and mean of sand diameter to increase and to cause friction coefficient ( $K$ ) to increas

*Keywords:* Friction coefficient in the pipe of flow that combine

### 1. บทนำ

การขนถ่ายของไหลผ่านท่อมียหลายรูปแบบ เช่น การส่งน้ำของการประปา, การขนถ่ายน้ำมันผ่านระบบท่อ, การส่งของไหลผ่านท่อในอุตสาหกรรมอาหาร, อุตสาหกรรมเคมี เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีงานบางชนิดที่มีการขนถ่ายของไหลผสมระหว่างน้ำกับของแข็งที่มีลักษณะเป็นเม็ดเล็ก ๆ เช่น ในอุตสาหกรรมขุดเจาะน้ำมัน, เหมืองถ่านหิน, อุตสาหกรรมก่อสร้าง, การดูดทรายหรือโคลนจากแม่น้ำลำคลองที่ตื้นเขิน ในกรณีดังกล่าวนี้การไหลของของไหลในท่อจะเป็นของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายหรือโคลน ในการขนถ่ายของไหลผ่านท่อ ระบบท่อดังกล่าวจะต้องใช้พลังงานในการขับเคลื่อน การสูญเสียความดันเนื่องจากความฝืดระหว่างผิวดันในของท่อกับของไหลที่ไหลผ่านจะส่งผลถึงการสูญเสียพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนของไหล โครงการนี้จึงได้ศึกษาถึงวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลของน้ำกับทรายที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของทรายและอัตราส่วนผสมต่าง ๆ เพื่อจะได้นำค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานไปใช้ในการคำนวณหากำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนซึ่งเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนของไหลดังกล่าวต่อไป

<sup>1</sup>ชื่ออังกฤษ "Friction coefficient in the pipe of flow that combine" งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

<sup>2</sup> นักศึกษานาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สจล. ห้อง 3Q รหัส 47015359, 47015414 และ 47015420 ตามลำดับ

<sup>3</sup> รองศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, โทร. 0 2326 4197, อีเมล : kornlong@kmitl.ac.th

**สัญลักษณ์และตัวแปร**

$Re_s$	เรย์โนลด์สเบอร์ของทราย	$n$	จำนวนเม็ดทรายใน $\Delta L$ ที่พิจารณา
$f_s$	ความฝืดระหว่างเม็ดทรายกับน้ำในหนึ่งอนุภาค (kN)	$\phi$	อัตราส่วนความเร็ว ( $u_s/u_m$ )
$\dot{w}_w$	อัตราการไหลโดยน้ำหนักของน้ำ (N/s)	$\lambda_s$	แฟคเตอร์ความเสียดทานของทราย
$\dot{w}_s$	อัตราการไหลโดยน้ำหนักของทราย (N/s)	$\lambda_w$	แฟคเตอร์ความเสียดทานของน้ำ
$u_m$	ความเร็วเฉลี่ยในท่อ (m/s)	$\mu_s$	อัตราส่วนของการไหลโดยน้ำหนัก ( $\dot{w}_s/\dot{w}_w$ )
$u_s$	ความเร็วของทราย (m/s)	$\Delta P_s$	ความแตกต่างความดันของทราย (kPa)

**2. วัตถุประสงค์ของโครงการ**

2.1 วิเคราะห์หาสมการเพื่อใช้คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทราย

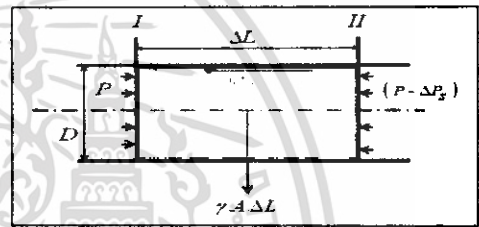
2.2 ทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายเพื่อพิสูจน์สมการที่ได้วิเคราะห์ขึ้นมา

**3. ขอบเขตของโครงการ**

วิเคราะห์หาสมการเพื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายในอัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของทรายที่ 5, 10, 15 และ 20% โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของทรายที่ 0.15, 0.45, 0.90, และ 1.20 มิลลิเมตร ในทุก ๆ อัตราส่วนผสม นำมาไหลผ่านท่อกลมในแนวราบแล้วคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจากสมการที่ได้วิเคราะห์ขึ้นเพื่อเปรียบเทียบกับผลทางการทดลอง

**4. การวิเคราะห์การไหลของของไหลผสมระหว่างทรายกับน้ำในท่อกลมแนวราบ**

พิจารณาท่อกลมของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายในท่อกลมแนวราบเพื่อหาค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานของทราย ( $\lambda_s$ )



รูปที่ 2 แสดงการพิจารณาแรงเสียดทานในท่อกลมแนวราบ

จากการสมดุลแรง

$$PA = n f_s + (P - \Delta P_s) A$$

จะได้ค่า Pressure drop ของทราย ( $\Delta P_s$ )

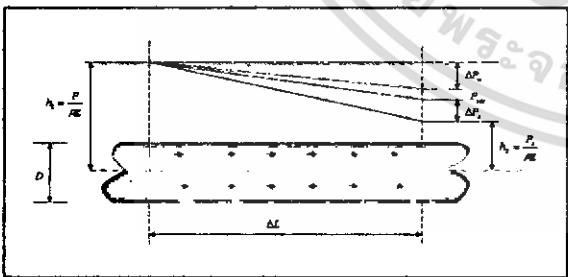
$$\Delta P_s = f_s \frac{n}{A} \tag{3}$$

โดยที่ Drag coefficient ( $f_s$ ) หาได้จากสมการ

$$f_s = \frac{k}{Re_s^2} \frac{\gamma_s}{2g} (u_m - u_s)^2 a \tag{4}$$

และค่า  $Re_s$  จะมีผลต่อค่า  $k$  และค่า  $\epsilon$

$$Re_s = (1 - \phi) \frac{d_s}{D} Re$$



รูปที่ 1 แสดง Pressure drop ของการไหลของของไหลผสม

เมื่อพิจารณา Pressure drop ของการไหลของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายในท่อกลมแนวราบ

$$\Delta P = (\lambda_s + \lambda_w) \frac{\Delta L}{D} \frac{\gamma_w}{2g} u_m^2 \tag{1}$$

เมื่อ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน  $K = (\lambda_s + \lambda_w) \frac{\Delta L}{D}$

$$\frac{\Delta P}{\gamma} = \Delta h = K \frac{u_m^2}{2g} \tag{2}$$

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการศึกษานานาชาติ (ให้คำปรึกษา) ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาความสมดุลของน้ำหนัก

$$\text{น้ำหนักของทราย} + \text{น้ำหนักของน้ำ} = \text{น้ำหนักทั้งหมด}$$

$$m w_s + \left( A \Delta L - \frac{m w_s}{\gamma_s} \right) \gamma_w = \gamma_w A \Delta L$$

ตารางที่ 1 แสดงเงื่อนไขของค่า  $Re_s$  ที่มีผลต่อค่า  $k$  และค่า  $\epsilon$

		$k$	$\epsilon$	
1	$0 < Re_s < 1$	24	1	Stokes
2	$1 < Re_s < 500$	10	0.5	Allen
3	$500 < Re_s < 2 \times 10^5$	0.44	0	Newton

จะได้สมการ

$$n = \frac{\mu_s \gamma_w A \Delta L}{w_s \phi \left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_s}\right)} \quad (5)$$

นำสมการ (4) และ (5) แทนในสมการ (3)

$$\Delta P_s = \left[ \eta \frac{3k\mu_s (1-\phi)^{2-\epsilon} \left(\frac{D}{d_s}\right)^{1+\epsilon} \gamma_w}{2Re^\alpha \phi \gamma_s} \frac{l}{\left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_s}\right)} \right] \frac{\Delta L \gamma_w}{D} \frac{u_m^2}{2g} \quad (6)$$

นำสมการ (6) แทนในสมการ (1) จะได้สมการที่ใช้ในการคำนวณ

$$\Delta P = \left[ \lambda_w + \left[ \eta \frac{3k\mu_s (1-\phi)^{2-\epsilon} \left(\frac{D}{d_s}\right)^{1+\epsilon} \gamma_w}{2Re^\alpha \phi \gamma_s} \frac{l}{\left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_s}\right)} \right] \frac{\Delta L \gamma_w}{D} \frac{u_m^2}{2g} \right] \quad (7)$$

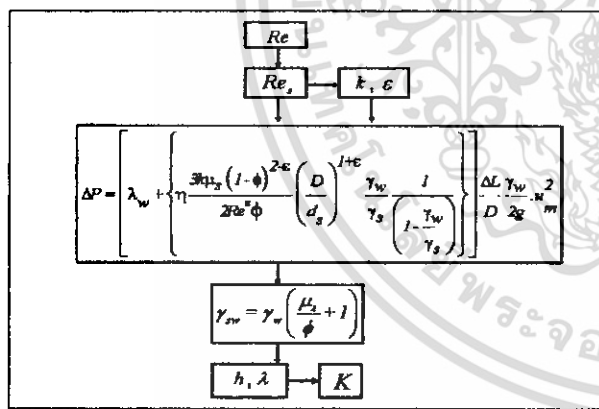
เมื่อ  $\gamma_{sw} = \gamma_w \left( \frac{\mu_s + 1}{\phi} \right) \quad (8)$

นำสมการ (7) ทหารด้วยสมการ (8) จะได้  $\frac{\Delta P}{\gamma_{sw}} = \Delta h_{sw}$

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K)

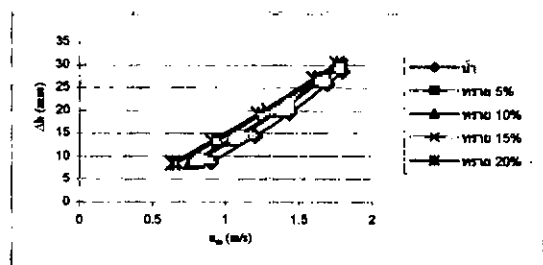
$$K = \left[ \lambda_w + \left[ \eta \frac{3k\mu_s (1-\phi)^{2-\epsilon} \left(\frac{D}{d_s}\right)^{1+\epsilon} \gamma_w}{2Re^\alpha \phi \gamma_s} \frac{l}{\left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_s}\right)} \right] \frac{\Delta L}{D} \right] \quad (9)$$

5. การคำนวณและผลการคำนวณ

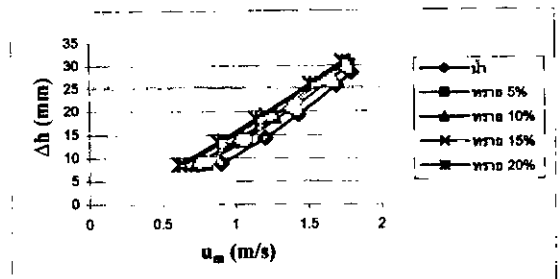


รูปที่ 3 Flow chart การคำนวณ

5.1 ค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน



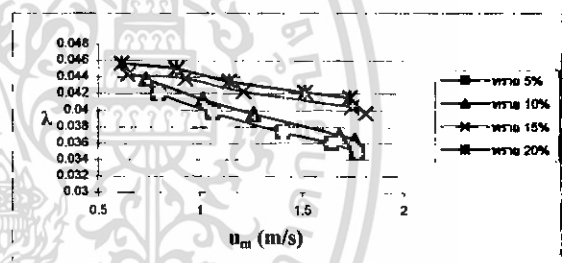
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน (Δh) กับ ความเร็วเฉลี่ย ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทรายเฉลี่ย 0.45 ม.ม.



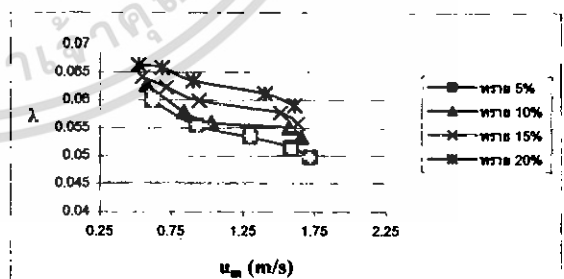
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน (Δh) กับ ความเร็วเฉลี่ย ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทรายเฉลี่ย 0.90 ม.ม.

จากรูปที่ 4 และรูปที่ 5 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน (Δh) กับความเร็วเฉลี่ย ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทรายและ 0.45 และ 0.90 ม.ม. ตามลำดับ จากรูปแสดงให้เห็นว่าเมื่อส่วนผสมของทรายเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน (Δh) สูงขึ้น

5.2 ค่าแฟคเตอร์ความเสียดทาน



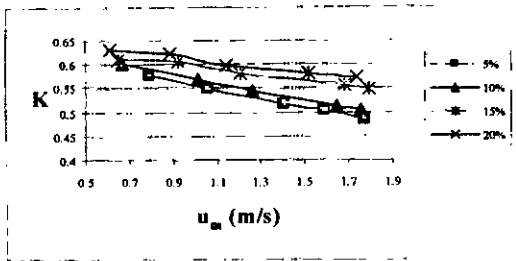
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแฟคเตอร์ความเสียดทาน (λ) กับ ความเร็วเฉลี่ย ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทรายเฉลี่ย 0.45 ม.ม.



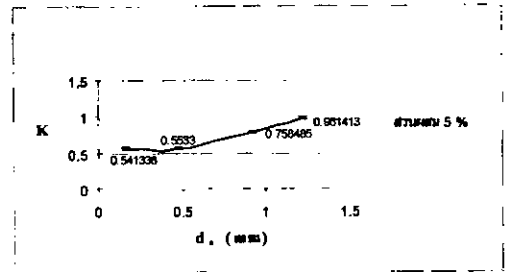
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแฟคเตอร์ความเสียดทาน (λ) กับ ความเร็วเฉลี่ย ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทรายเฉลี่ย 0.90 ม.ม.

จากรูปที่ 6 และรูปที่ 7 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแฟคเตอร์ความเสียดทาน (λ) กับความเร็วเฉลี่ย ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทรายและ 0.45 และ 0.90 ม.ม. ตามลำดับ จากรูปแสดงให้เห็นว่าเมื่อส่วนผสมของทรายเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าแฟคเตอร์ความเสียดทาน (λ) สูงขึ้น

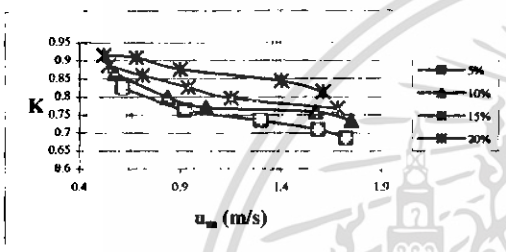
5.3 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) กับ ความเร็วเฉลี่ย ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่รายเฉลี่ย 0.45 ม.ม.

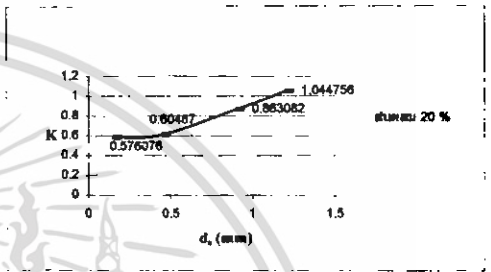


รูปที่ 12 พิจารณาที่ค่าอัตราส่วนผสมของทราย 5%



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) กับ ความเร็วเฉลี่ย ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่รายเฉลี่ย 0.90 ม.ม.

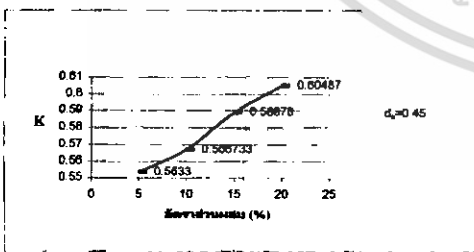
จากรูปที่ 8 และรูปที่ 9 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) กับความเร็วเฉลี่ย ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่รายและ 0.45 และ 0.90 ม.ม. ตามลำดับ จากรูปแสดงให้เห็นว่าเมื่อส่วนผสมของทรายเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) สูงขึ้น



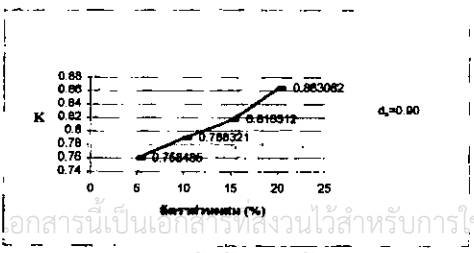
รูปที่ 13 พิจารณาที่ค่าอัตราส่วนผสมของทราย 20%

จากรูปที่ 10 ถึงรูปที่ 13 เป็นการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) ที่ความเร็วเฉลี่ย 1 m/s ในอัตราส่วนผสมและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่าง ๆ จากรูปแสดงให้เห็นว่าเมื่ออัตราส่วนผสมและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่รายเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) สูงขึ้น

5.4 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ความเร็วเฉลี่ย 1 m/s



รูปที่ 10 พิจารณาที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่รายเฉลี่ย 0.45 ม.ม.

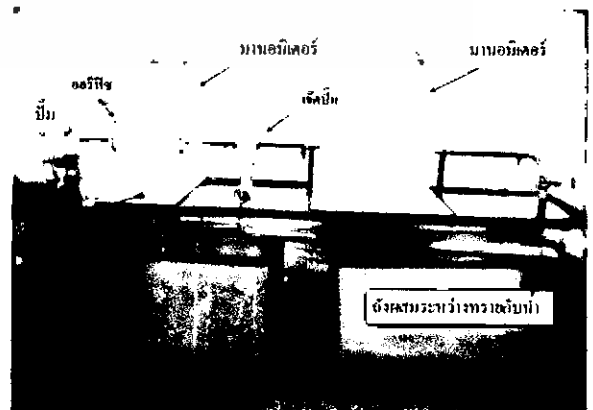


รูปที่ 11 พิจารณาที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่รายเฉลี่ย 0.90 ม.ม.

6. ชุดทดลองและวิธีการทดลอง

อุปกรณ์การทดลองประกอบด้วยชุดเจ็ทปั๊ม โดยจะใช้เจ็ทปั๊มในการผสมระหว่างน้ำกับทราย และวัดอัตราการไหลของน้ำด้วยออร์ฟิซ ส่วนการวัดการเปลี่ยนแปลงความดัน ( $\Delta h$ ) สามารถอ่านได้จากมานอมิเตอร์

6.1 ชุดทดลอง

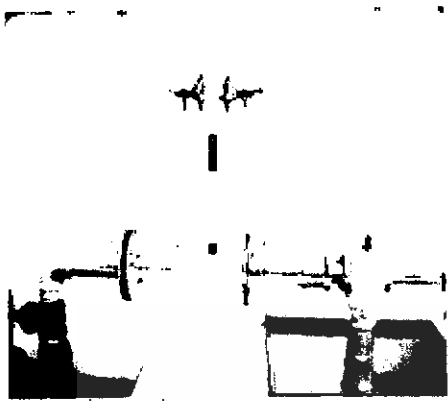


รูปที่ 14 ชุดทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

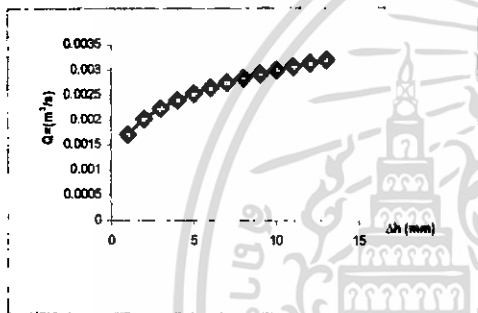
รูปที่ 11 พิจารณาที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่รายเฉลี่ย 0.90 ม.ม. และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 เครื่องวัดอัตราการไหล



รูปที่ 15 เครื่องวัดอัตราการไหลออร์พิซ

6.3 การสอบเทียบออร์พิซ



รูปที่ 16 แสดงผลที่ได้จากการสอบเทียบออร์พิซ

6.4 วิธีการทดลอง

1. เริ่มต้นใช้ทราวยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.15 มิลลิเมตร ทำการผสมน้ำกับอัตราส่วนทราย 5% โดยน้ำหนัก ใช้เจติบีมเป็นตัวผสมให้ของผสมไหลผ่านท่อในแนวราบ โดยใช้ค่าความเร็วเริ่มต้นที่อ่านได้จากமானอมิเตอร์ของออร์พิซที่ความสูงแตกต่าง 4 mm-Hg แล้วบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจากமானอมิเตอร์แบบหลอดรูปตัวยู

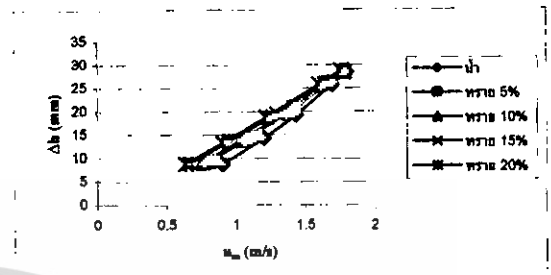
2. ทำการเปลี่ยนแปลงความเร็วให้มีค่าความสูงแตกต่างจากமானอมิเตอร์ของออร์พิซเพิ่มขึ้นเป็น 6, 8, 10, 12 และ 14 mm-Hgตามลำดับ แล้วบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจากமானอมิเตอร์แบบหลอดรูปตัวยู

3. ทำการทดลองเหมือนข้อ 1 และข้อ 2 โดยเปลี่ยนปริมาณของทรายที่อัตราส่วนผสมเป็น 10%, 15%และ 20% ตามลำดับ แล้วบันทึกข้อมูล

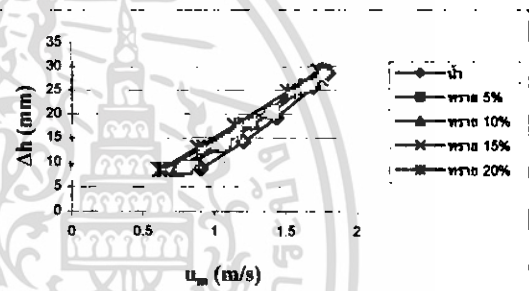
4. นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน (Δh) กับค่าความเร็วเฉลี่ย (u<sub>m</sub>)

5. ทำตามข้อ 1 โดยเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทรายเฉลี่ยเป็น 0.45, 0.90 และ 1.20 มิลลิเมตร ตามลำดับ

6.5 ผลการทดลอง



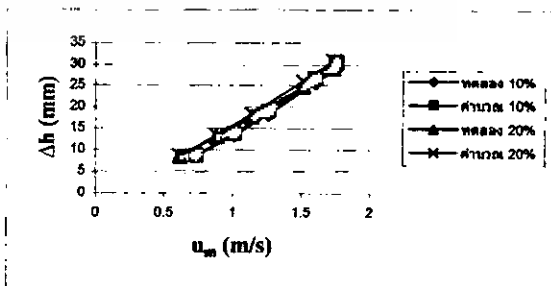
รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน (Δh) กับความเร็วเฉลี่ย ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทรายเฉลี่ย 0.45 ม.ม.



รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน (Δh) กับความเร็วเฉลี่ย ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทรายเฉลี่ย 0.90 ม.ม.

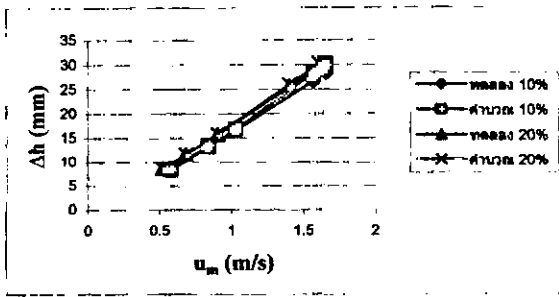
จากรูปที่ 17 และรูปที่ 18 ค่าการเปลี่ยนแปลงความดันที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทรายเฉลี่ยที่ 0.45 กับ 0.90 ม.ม. จะสังเกตได้ว่าเมื่อส่วนผสมของทรายเพิ่มขึ้นค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน (Δh) จะเพิ่มขึ้น

7. เปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจากการคำนวณกับการทดลอง



รูปที่ 19 พิจารณาที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทรายเฉลี่ย 0.45 ม.ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 20 พิจารณาที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทราวยเฉลี่ย 0.90 มม.

จากรูปที่ 19 และรูปที่ 20 การเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจากการคำนวณกับการทดลองจะมีความสอดคล้องกัน

### 8. สรุปผลการทดลอง

ผลจากการวิเคราะห์สมการทางการคำนวณ จากข้อมูลการคำนวณนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน ( $\Delta h$ ), ค่าแฟคเตอร์ความเสียดทาน ( $\lambda$ ), และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ( $K$ ), กับค่าความเร็วเฉลี่ย ( $u_m$ ) จะเห็นได้ว่าพฤติกรรมการไหลของของผสม เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและอัตราส่วนผสมเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าแฟคเตอร์ความเสียดทาน, ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและค่าการเปลี่ยนแปลงความดันเพิ่มขึ้น

ผลการทดลอง จากข้อมูลการทดลองนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน ( $\Delta h$ ) กับค่าความเร็วเฉลี่ย ( $u_m$ ) จะเห็นได้ว่าพฤติกรรมการไหลของของผสม เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและอัตราส่วนผสมเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงความดันเพิ่มขึ้น

### 9. วิจารณ์การทดลอง

1. ในการอ่านค่าการเปลี่ยนแปลงความดันโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่மானอมิเตอร์จะสั้นเล็กน้อยจึงทำให้ค่าที่อ่านได้นั้นคลาดเคลื่อนไปบ้างถึงแม้จะทำการทดสอบหลายครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ยก็ตาม

2. ในการหาค่าความเร็วของส่วนผสมรวมระหว่างน้ำกับทรายจะใช้วิธีการจับเวลาแล้วซึ่งน้ำหนักของส่วนผสมรวม อาจมีความคลาดเคลื่อนของการชั่งค่าที่ได้ไปบ้างถึงแม้จะทำการทดสอบหลายครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ยก็ตาม

3. ในการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆอาจทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องมือและอุปกรณ์ทำงานไม่เต็มที่ เนื่องจากขนาดและระยะการติดตั้งมีพื้นที่จำกัด

4. ในการผสมของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดทรายที่ค่อนข้างใหญ่ จะควบคุมปริมาณของส่วนผสมให้สม่ำเสมอทั่วทั้งระบบเป็นไปได้ยากพอสมควร

### 10. ข้อเสนอแนะ

10.1 เปลี่ยนช่วงของท่อที่จะพิจารณาให้เป็นลักษณะไปรุ่งไปไสเพื่อจะเห็นพฤติกรรมการไหลของของผสม

10.2 ใช้วัสดุในการทดลองที่มีลักษณะกลมแทนเม็ดทราย เช่น เม็ดพลาสติก เป็นต้น

### 11. เอกสารอ้างอิง

[1] มนตรี พิรุณเกษร, "กลศาสตร์ของไหล," ครั้งที่ 2, บริษัท จูนพับลิชชิง จำกัด, กรุงเทพฯ, 2547.  
 [2] วิบูลย์ บุญชูโรกุล "บีมและระบบสูบน้ำ," มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 1996.  
 [3] E. Anthony, "Fluid Mechanics with Applications," Prentice Hall, Inc, 1988.  
 [4] H. EBARA, "Fundamentals of Pump Technology," Doc No. EHMF-7D230, 1997

## การหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลในท่อของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทราย

นายทวีศักดิ์ จันทอง 47015359  
นายสุธีระ ชีแก้ว 47015414  
นายอาคม สุวรรณบุรณ์ 47015420  
รศ.ดร. จำลอง ปราบแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษา  
ผศ.มณฑล ใจกุล ผศ.อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
ปีการศึกษา 2549

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการนำเสนอวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลในท่อแนวราบของของไหลผสมที่มีการผสมกันระหว่างน้ำกับทราย โดยวิธีการวิเคราะห์หาสมการที่ใช้ในการคำนวณแล้วนำผลการคำนวณที่ได้ไปเทียบกับผลการทดลอง การศึกษาจะพิจารณาถึงผลของปริมาณส่วนผสมของทรายที่ 5, 10, 15 และ 20% ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของทรายที่ 0.15, 0.45, 0.90 และ 1.20 มิลลิเมตร จากนั้นก็นำผลการคำนวณและผลการทดลองมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียความดันกับความเร็วเฉลี่ยการไหลในท่อ กราฟดังกล่าวสามารถใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายได้ จากการศึกษาพบว่าที่ค่าความเร็วเฉลี่ยการไหลเท่ากันคือ 1 m/s โดยที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของทราย 0.45 มิลลิเมตรที่อัตราส่วนผสมของทราย 5% จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) = 0.5533 และที่อัตราส่วนผสมของทราย 20% จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) = 0.6049 ในขณะที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของทราย 0.90 มิลลิเมตรที่อัตราส่วนผสมของทราย 5% จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) = 0.7585 และที่อัตราส่วนผสมของทราย 20% จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) = 1.0450 จะแสดงให้เห็นว่าเมื่อส่วนผสมของทรายและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยมากขึ้นจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Friction coefficient in the pipe of flow that combine

Taweesak chanthong

Suteera cheekaew

Arkom Suwannaboon

Assoc.Prof.Dr.Chamlong Prabkeo Advisor

Assis.Prof Montol Jaikusol Co.Advisor

### ABSTRACT

This project present about flow friction coefficient in the horizontal line pipe of flow that combine with water and sand. By searching an equation for calculate then use the result from an equation compare with result from the experiment. A study considering about volume of sand result at 5, 10, 15, and 20 percent and mean of sand diameter that 0.15, 0.45, 0.90, 1.20 millimeter. After that using the result to plot graph show the relation between head loss with flow speed in the pipe, This graph can using for measuring friction coefficient. From result study to find that flow speed to be the same as 1 m/s by mean of sand diameter that 0.45 millimeter volume of sand result at 5 percent friction coefficient (K) = 0.5533 and volume of sand result of 20 percent friction coefficient (K) = 0.6049. While mean of sand diameter that 0.90 millimeter volume of sand result at 5 percent friction coefficient (K) = 0.7585 and volume of sand result of 20 percent friction coefficient (K) = 1.0450. From result study to find that about volume of sand result and mean of sand diameter to increase and to cause friction coefficient (K) to increase.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา **II** และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนช่วยโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

1. ขอขอบพระคุณ ร.ศ ดร.จำลอง ปราบแก้ว (อ.ที่ปรึกษา) ที่ให้ความเอาใจใส่ คอยช่วยเหลือ ทุกๆด้าน
2. ขอขอบพระคุณ ผศ. มณฑล ใจกุลต (อ.ที่ปรึกษา) ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ ช่วยเหลือใน ด้านต่าง ๆ เสมอมา
3. ขอขอบพระคุณ คุณ มณฑา เทียมเมือง ที่คอยช่วยเหลือ ตลอดจนการขีมือเครื่องมือและ อุปกรณ์ต่างๆ
4. ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมโยธาที่เอื้อเพื่อให้ขีมือเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ใน โครงการนี้

ต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่ เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้ กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุด ประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นายทวีศักดิ์ จันทอง

นายสุธีระ ชีแก้ว

นายอาคม สุวรรณบุรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้