เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

เชวง ชูศรี "Pipe Network Analysis" วารสารสมาคมการประปาแห่งประเทศไทย 2 (มิถุนายน 2517) 29-40.

ชำรง เปรมปรีดิ์ และจักรี จัตุทะศรี. ชลศาสตร์. แผนกวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 1977.

ภาษาอังกฤษ

Aldrich. " Solution of Transmission Problems of a Water System." Transactions of the American Society of Civil Engineers 103 (1938) : 1579-1619.

American Society of Mechanical Engineers. Fluid Meters. 6th ed.1971.

Asian Institute of Technology. " Practical Hydraulics for the Public Works Engineers." Public Works for September 1968.

Adams, R.W. " Distribution Analysis by Electronic Computer." Journal of the Institute of Water Engineers 15(1961):415.

Camp, et al. " Hydraulic Analysis of Water Distribution Systems by Means of an Electric Network Analyzer. " Journal of the New England Water Works Association 57 (December 1943) : 334.

Chenoweth, Hary, and Crawford, Clyde. "Pipe Network Analysis." Journal of the American Water Works Association (January 1974):55-58.

Davis, Calvin Victor, and Sorensen, Kenneth E. Handbook of Applied Hydraulics. 3rd ed. New York : McGraw - Hill Book Co., 1970.

Daugherty, and Franzini. Fluid Mechanics With Engineering Applications. 3rd. ed. New York : McGraw-Hill Book Co.,

Doland. " Simplified Analysis of Flow in Water Distribution Systems." Engineering News - Record 117 : 475 - 477.

Fair, G.M. ; Geyer, J.C. and Okun, D.A. Elements of Water Supply and Waste Water Disposal. 2nd ed. New York : Jonh Wiley & Sons, 1970.

Freeman, John R. New England Water Works Association 7 (1892) : 49.

Gurcharan Singh. Water Supply and Sanitary Engineering. 1705-B Naisarak Delhi 6 : Standard Publishers Distributors, 1973.

Hartree, D.R. "Numerical Analysis" Oxford University Press, 1958.

Hoag, L.N., and Weinberg, G. "Pipe Network Analysis by Electronic Digital Computer". Journal of the American Water Works Association 49 : 1-17.

Linsley, and Franzini. Water Resources Engineering. 2nd ed. New York : McGraw-Hill Book Co., 1972.

Lewitt, E.H. Hydraulics and the Mechanics of Fluids. 10th ed. London: Sir Issac Pitman & Sons, 1970.

Linsley; Kohler and Paulhus. Hydrology for Engineers. 2nd ed. New York: McGraw-Hill Book Co., 1977.

Martin, et al. "Analysis of a Transmission System Containing Booster Pumps". Journal of the American Water Works Association (April 1972) : 238-243.

McIlroy, M.S. " Direct Reading Analyzer for Pipelines Networks". Journal of the Hydraulic Division A.S.C.E. (April 1958) : 347-367.

Martin, and Peters. "The Application of Newton's Method to Network Analysis by Digital Computer". Journal of the Institute of Water Engineers 17 (April 1972) : 238-243.

Metropolitan Water Works Authority. Master Plan Volume II. Technical Report (1970) : 83-104.

Nielsen, L.S. Standard Plumbing Engineering Design. New York : Mc Graw-Hill Book Co., 1963.

Nahavandi, and Catanzaro. "Matrix Method for Analysis of Hydraulic Networks". Journal of the Hydraulic Division A.S.C.E. (January 1973) : 47-63.

Organick, E.L. A Fortran IV Primer. United States of America: Addison Wesley Publishing Company, 1967.

Ramaswamy; Rao, Syamala and Rao, Laksmana. "Pressure Losses at Trifurcations in Closed Conduits". Journal of the Hydraulic Division A.S.C.E. (May 1967) : 51-65.

Streeter. Fluid Mechanics. 4th ed. New York: McGraw-Hill Book Co., 1966.

Singhal, R.P. A Textbook on Water Supply Engineering. India: Mrs. S. Singhal, Civil Lines, Roorkee, (U.P.), 1968.

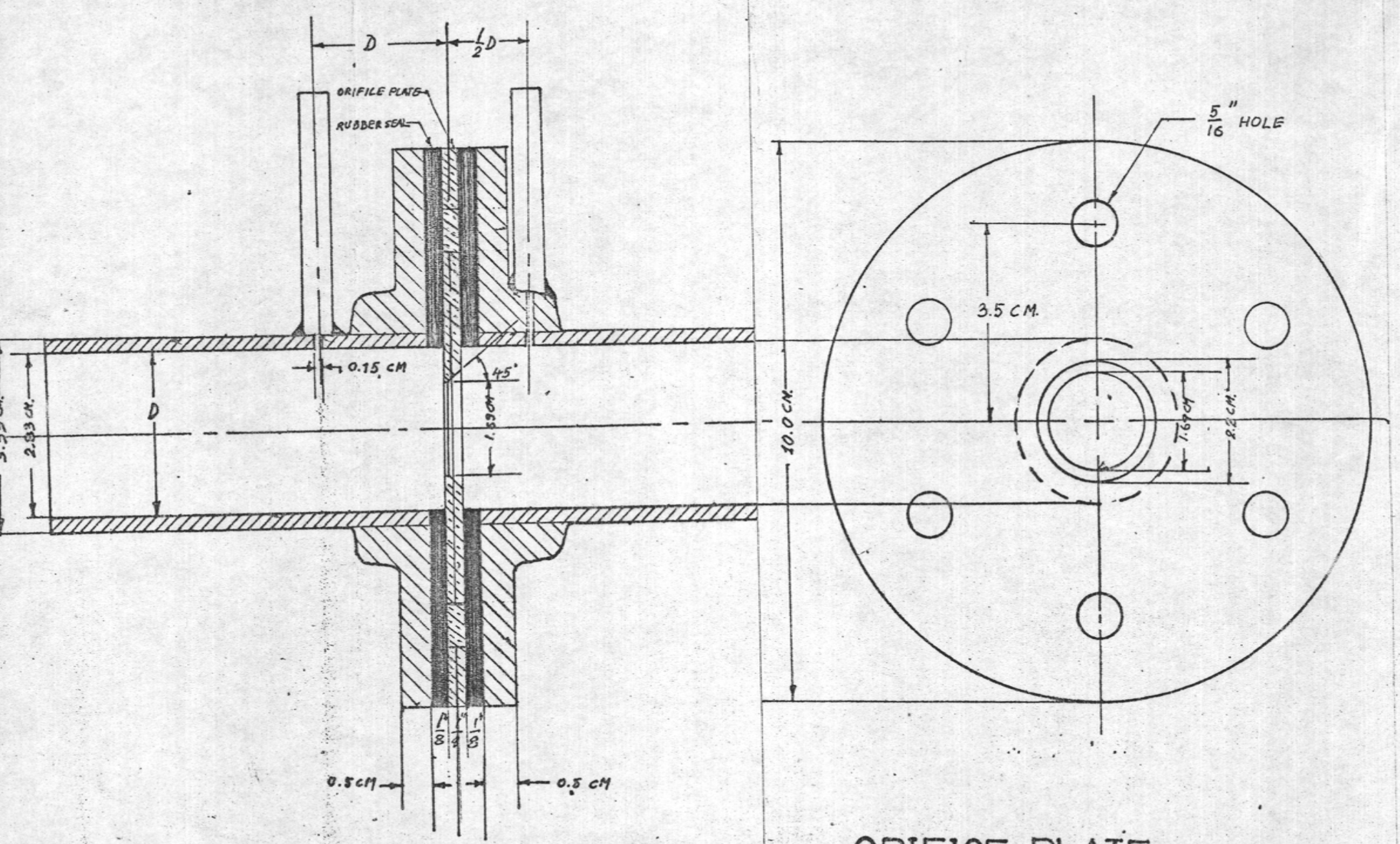
Steel. Water Supply and Severage. 4th ed. New York : MeGraw-Hill Book Co., 1968.

Williams, Glen N. "Enhancement of Convergence of Pipe Network Solutions". Journal of the Hydraulic Division A.S.C.E. (July 1973) : 1057-1067.

ภาคผนวก

ผนวก ก

มาตรวัดแบบรูระบายและผลการทดลอง



ORIFICE METER WITH D AND 1/2 D PRESSURE TAP

รูป ก.1 แสดงมาตรวัดแบบรูระบาย

ตาราง ก. 1 ผลการทดลองในการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การไหล (Cd) และค่าคงตัวสำหรับการสูญเสียความดันย่อย (β) ของมาตรวัดแบบรูระบาย AA

เรย์โนลด์ นัมเบอร์	Cd	β
6.49×10^3	0.635	14.42
8.87×10^3	0.630	14.86
1.43×10^4	0.618	14.97
1.60×10^4	0.608	15.46
1.70×10^4	0.650	13.63
1.89×10^4	0.634	14.74
2.02×10^4	0.624	14.55
2.20×10^4	0.636	14.05
2.29×10^4	0.615	15.02
2.47×10^4	0.635	14.05
2.64×10^4	0.614	15.00
3.03×10^4	0.625	14.42
3.15×10^4	0.600	15.54
4.18×10^4	0.609	14.93
4.36×10^4	0.595	15.64
4.81×10^4	0.606	14.86

Cd เฉลี่ย = 0.621

β เฉลี่ย = 11.01

หมายเหตุ $$Q = C_d A_o \sqrt{\frac{2g\Delta H}{1-(D_o/D_1)^4}} \quad \text{-----(2-6)}$$

$$h_m = \beta \frac{V^2}{2g} \quad \text{-----(2-7)}$$

ตาราง ก. 2

ผลการทดลองในการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การไหล(Cd) และค่าคงตัวสำหรับการสูญเสียความดันย่อย ($\int$) ของมาตรวัดแบบรูระบาย CC

เรย์โนลด์ นัมเบอร์	Cd	$\int$
$6.44 + 10^3$	0.631	12.39
$8.39 + 10^3$	0.626	11.84
$1.15 + 10^4$	0.618	11.67
$1.41 + 10^4$	0.619	10.97
$1.62 + 10^4$	0.611	11.14
$1.86 + 10^4$	0.627	10.61
$2.03 + 10^4$	0.630	10.69
$2.20 + 10^4$	0.630	10.59
$2.37 + 10^4$	0.634	10.35
$2.48 + 10^4$	0.625	10.84
$2.59 + 10^4$	0.619	11.01
$2.71 + 10^4$	0.621	11.01
$2.78 + 10^4$	0.612	11.46
$3.19 + 10^4$	0.645	9.86
$3.57 + 10^4$	0.640	10.18
$4.09 + 10^4$	0.634	10.42
$4.60 + 10^4$	0.638	10.23
$4.69 + 10^4$	0.607	12.03

Cd เฉลี่ย = 0.626

$\int$ เฉลี่ย = 10.96

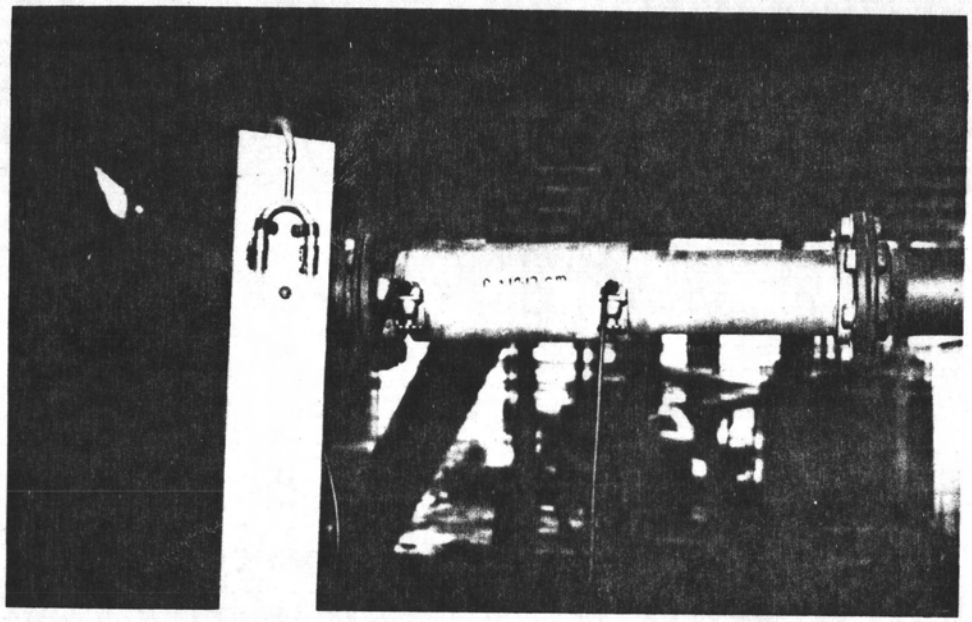
หมายเหตุ

$$Q = C_d A_o \sqrt{\frac{2g\Delta H}{1-(D_o/D_1)^4}} \quad \text{-----(2—6)}$$

$$h_m = \int \frac{V^2}{2g} \quad \text{-----(2—7)}$$

ผนวก ข

มาตรวัดแบบเวนชูรี่



รูป ข.1 รูปแสดงเวนชูรี่มิเตอร์พร้อมด้วยดิฟเฟอเรนเชียลมิเตอร์

ตาราง ข. 1

ผลการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ของการไหล (C) ของมาตรวัดแบบเวนจูรี่

เรย์โนลด์ นัมเบอร์	C
3.93×10^5	0.9326
4.51×10^5	1.923
5.66×10^5	0.918
6.27×10^5	0.9504
7.70×10^5	0.9558
8.88×10^5	0.9432
1.03×10^5	0.9424
1.17×10^5	0.9
1.23×10^5	0.902
1.33×10^5	0.9412

หมายเหตุ

มาตรวัดแบบเวนจูรี่อันนี้เป็นมาตรวัดในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ แผนกวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผลการทดลองดังกล่าวได้มาจากผลการทดลองตามหนังสือ Hydraulic Laboratory Practice ประจำปีการศึกษา 2519 ของนายบุญสม สุริย์พงษ์ ครูปฏิบัติการประจำห้องปฏิบัติการชลศาสตร์

$$Q = \frac{CA_2}{\sqrt{1-(A_2/A_1)^2}}\sqrt{2gh} \quad \text{-----(2—14)}$$

D1 = 10.10 ซ.ม. A1 = 80.47 ซ.ม.

D2 = 3.38 ซ.ม. A2 = 8.98 ซ.ม.

ภาคผนวก ค

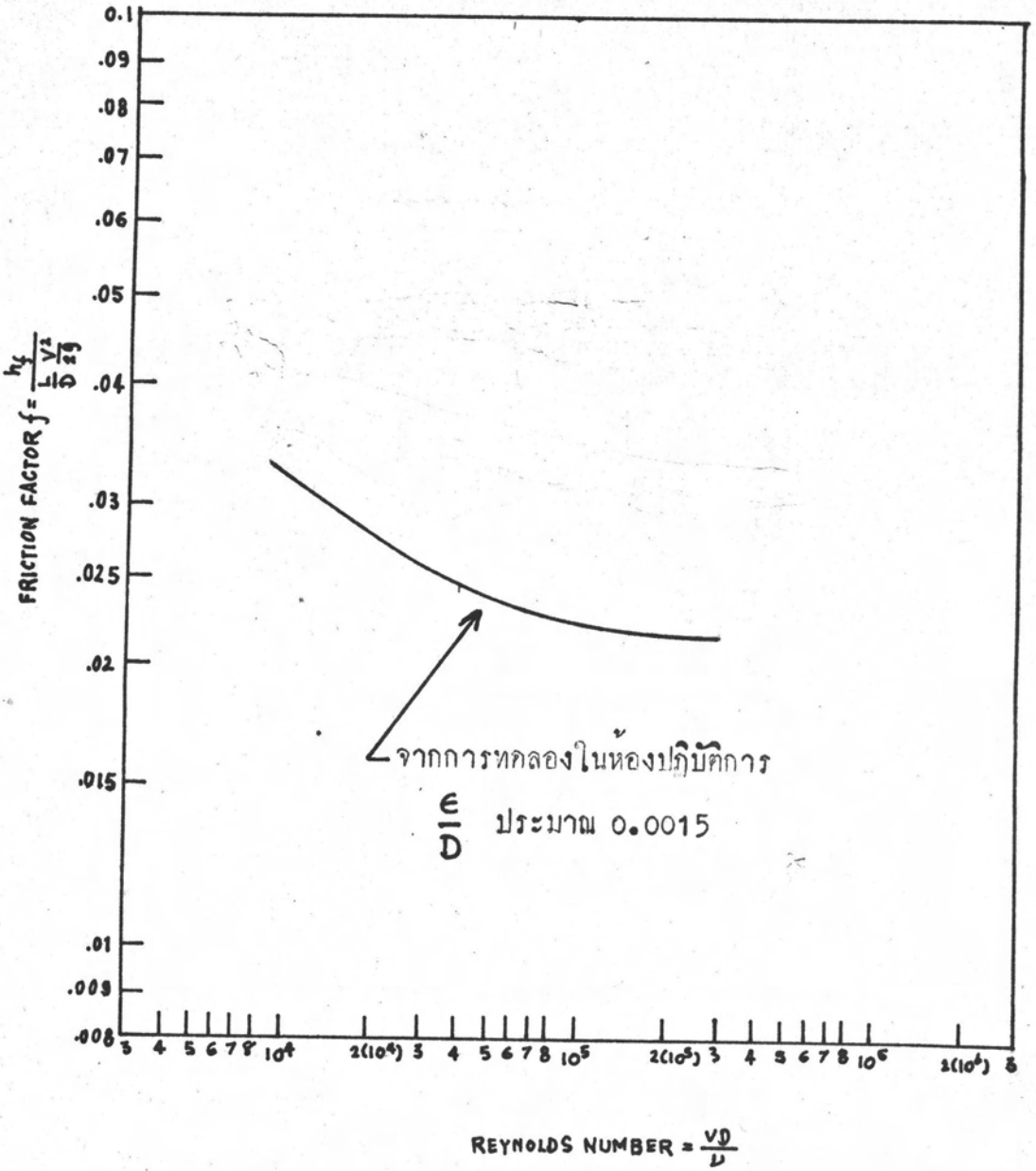
ผลการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของไส้นท่อ

ตาราง ค. 1

ผลการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของเส้นท่อขนาด 1 นิ้ว ที่ใช้ในการทดลอง

เรย์โนลด์ นัมเบอร์(R)	สัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน(f)
$1.70 + 10^4$	0.0282
$2.83 + 10^4$	0.0237
$3.67 + 10^4$	0.0238
$5.18 + 10^4$	0.0233
$5.81 + 10^4$	0.0235

หมายเหตุ $$h_f = \frac{flV^2}{D2g} \text{ -----(2-1)}$$



รูป ค.1 เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ของเส้นท่อ (f) กับค่าเรย์โนลดนัมเบอร์ (R) ที่ใช้ในการทดลอง

ภาคผนวก ง.

โปรแกรมคอมพิวเตอร์

```
DOS FORTRAN IV 360N-FO-479 3-8        MAINPGM          DATE  12/07/77     TIME    21.17.27      PAGE 0001

                C                          PIPE NETWORK ANALYSIS
                C                      BY CRAWFORD-CHENOWETH METHOD
                C                  FIRST TRIAL PROGRAM FOR MATHEMATICAL MODEL
                C                    SPECIFICATION STATEMENT
                C
0001                 REAL  KONST(200), NHEAD(100), KSIG,PHEAD(100)
0002                 INTEGER STAR,CHARN(100)
0003                DIMENSION PROB(2),NODE(100),HEAD(100),KTAR(100),QEXT(100),
               1          LSCRD(200),PIPA(200),PIPB(200),NODB(200),NODA(200),
               2 HDA(200),HDB(200),DHEAD(100),AQUA(200)
                C
                C     READ INPUT DATAS
                C
0004           999 READ(1,2) PROB(1),PROB(2),NUM,NUP,STAR,ITERS,CONST,SUMQ
0005             2 FORMAT(A3,A4,I5,I5,I3,I5,F8.3,F8.3)
0006               DO 4  I = 1,NUP
0007               READ(1,3)NODE(I),HEAD(I),KTAR(I),QEXT(I),CHARN(I)
0008             3 FORMAT(I5,F8.4,I3,F8.4,I3)
0009               IF(CHARN(I).NE.0 0)GOTO123
0010             4 CONTINUE
0011           123 DO10  L=1,NUM
0012               READ (1,5)LSCRD(L),PIPA(L),PIPB(L),NODA(L),NODB(L),HDA(L),HDB(L),
               1          KONST(L)
0013             5 FORMAT(I2,A3,A4,2I5,3F8.4)
0014               IF(LSCRD(L).NE.0.0)GOTO345
0015            10 CONTINUE
                C
                C               CHECK INPUT DATAS AND PRINTOUT
                C
0016           345 IF(I.NE.NUP)GOTO15
0017            12 IF(L.NE.NUM)GOTO19
0018               GOTO22
0019            15 WRITE(9,16)
0020            16 FORMAT(' CHECK NUMBER OF NODES')
0021                  KSIG =1.0
0022               GOTO12
0023            19 WRITE(9,20)
0024            20 FORMAT(' CHECK NUMBER OF ASSIGNED PIPES')
0025                  KSIG =1.0
0026            22 CSUM=0.0
0027               DO25 I= 1,NUP
0028            25 CSUM =CSUM+QEXT(I)
0029               IF(CSUM.NE. SUMQ)GOTO30
0030               GOTO35
0031            30 WRITE(9,31)
0032            31 FORMAT(' CHECK QUANTITY OF TAKEOFF AND INPUT')
0033                     KSIG = 1.0
                C
                C                  PRINTOUT INPUT DATAS
                C
0034            35 WRITE(9,38)PROB(1),PROB(2),NUM,NUP,STAR,ITERS,CONST,SUMQ
0035            38 FORMAT(1H1,A3,A4,5X,'NUM = ',I5,5X,'NUP = ',I5,5X,'STAR = ',I3,5X,
               1       'ITERS = ',I5,5X,'CONST = ',F5.3,5X,'SUMQ = ',F8.3)
0036               WRITE(9,41)
```

```
DOS FORTRAN IV 360N-FO-479 3-8        MAINPGM        DATE  12/07/77    TIME   21.17.27      PAGE 0002

0037          41 FORMAT(1H1,'LSCRD',3X,'PIPENAME',3X,'NODA',3X,'NODB',7X,'HEADA',
                1       7X,'HEADB',7X,'KONST')
0038             WRITE(9,401)
0039         401 FORMAT(1H )
0040             DO43  L = 1,NUM
0041             WRITE(9,42)LSCRD(L),PIPA(L),PIPB(L),NODA(L),NODB(L),HDA(L),HDB(L),
                1       KONST(L)
0042          42 FORMAT(1H ,2X,I3,4X,A3,A4,3X,I4,3X,I4,4X,F9.4,4X,F9.4,4X,F9.4)
0043          43 CONTINUE
0044             WRITE(9,51)
0045          51 FORMAT(' ')
0046             WRITE(9,40)
0047          40 FORMAT(1H1,10X,'NODE(I)',5X,'HEAD(I)',5X,'KTAR(I)',5X,'QEXT(I)')
0048             WRITE(9,402)
0049         402 FORMAT(1H )
0050             DO60 I=1,NUP
0051             WRITE(9,54)NODE(I),HEAD(I),KTAR(I),QEXT(I)
0052          54 FORMAT(' ',10X,I7,4X,F9.4,5X,I7,4X,F9.4)
0053          60 CONTINUE
                C
                C       INITIALIZE TO MATHEMATICAL MODEL OF NETWORK
                C
                C         TO CALCULATE SIGNIFICANCE FACTOR FOR EACH NODE
                C
0054                       JZ = 1
0055             64        DO65 I=1,NUM
0056                       NHEAD(I)=0.0
0057                       PHEAD(I)=0.0
0058                      DHEAD(I)=0.0
0059             65     CONTINUE
0060             71     I=1
0061             72     K=1
0062             75     IF(NODA(K).EQ.I)GOTO77
0063                    GOTO80
0064             77           AA = HDB(K)-HDA(K)
0065                          BB  =  ABS(AA)
0066                     IF(BB.LE.0.000001)BB=0.000001
0067                     CC=SQRT(BB)*KONST(K)
0068                  IF(HDB(K).GT.HDA(K))GOTO78
0069                          CC = -1.0*CC
0070             76       NHEAD(I)=NHEAD(I)+CC
0071                      AA=SQRT(BB)
0072                        CC  = KONST(K)/AA
0073                   PHEAD(I) = PHEAD(I)+CC
0074             79          K = K+1
0075                   IF(K-NUM)75,75,80
                C
                C       SPECIFY CONSTANT HEAD NODES AND COMPUTE NEW HEAD FOR EACH NODE
                C
0076             80        IF(KTAR(I).EQ.STAR)GOTO82
0077                              IF(PHEAD(I).LE.0.001)PHEAD(I)=0.001
0078                          DHEAD(I)=(NHEAD(I)-QEXT(I))/(PHEAD(I)*0.5)
0079                           HEAD(I)=HEAD(I)+DHEAD(I)
0080                   J = 1
```

```
DOS FORTRAN IV 360N-FO-479 3-8          MAINPGM          DATE  12/07/77     TIME    21.17.27     PAGE 0003

0081          85 IF (NODA(J).EQ.I)HDA(J)=HEAD(I)
0082             IF (NODB(J).EQ.I)HDB(J)=HEAD(I)
0083               J = J+1
0084             IF(J-NUM)81,81,82
0085          82 IF(K-NUM)83,83,876
0086          83 I=I+1
0087             GOTO75
0088         876    I=1
0089         801    DELTA = ABS(DHEAD(I))
0090                   IF(DELTA.GT.CONST)GO TO85
0091                   I=I+1
0092             IF(I.LE.NUP)GOTO801
0093                      SSIG=1.0
0094                   GOTO 711
0095          85       JZ=JZ+1
0096             IF(JZ.LE.ITERS)GOTO 64
                C
                C                PRINTOUT RESULTS FOR BALANCED COMPUTED HEAD
                C
0097         711 WRITE(9,701)
0098         701 FORMAT(1H )
0099             WRITE(9,702)
0100         702 FORMAT(1H )
0101             WRITE(9,703)
0102         703 FORMAT(' ',10X,'LEAST DHEAD CORRECTION FOR EACH NODE')
0103             WRITE(9,704)
0104         704 FORMAT(1H )
0105             WRITE(9,705)
0106         705 FORMAT(1H )
0107                J=1
0108                K=10
0109         706 WRITE(9,709)(DHEAD(I),I=J,K)
0110         709 FORMAT(' ',8X,10(1X,F7.3))
0111                J=I+1
0112                K=I+10
0113             IF(J.LE.NUP)GOTO706
0114          87 WRITE(9,88)JZ
0115          88 FORMAT(1H1,20X,'JZ = ',I5)
0116             WRITE(9,89)
0117          89 FORMAT(1H )
0118             WRITE(9,90)
0119          90 FORMAT(1H )
0120             WRITE(9,91)
0121          91 FORMAT(1H ,10X,'NODE(I)',5X,'HEAD(I)',5X,'KTAR(I)',5X,'QEXT(I)')
0122             WRITE(9,910)
0123         910 FORMAT(1H )
0124             WRITE(9,911)
0125         911 FORMAT(1H )
0126                DO95 I=1,NUP
0127             WRITE(9,92)NODE(I),HEAD(I),KTAR(I),QEXT(I)
0128          92 FORMAT(' ',10X,I7,4X,F9.4,5X,I7,4X,F9.4)
0129          95 CONTINUE
0130             IF(SSIG.NE.1.0)GOTO502
                C
```

```
BOS FORTRAN IV 360N-FO-479 3-8        MAINPGM        DATE  12/07/77    TIME   21.17.27    PAGE 0004

C                COMPUTE FLOW IN EACH PIPE OF NETWORK
C
0131            DO901 I=1,NUM
0132                  AA = ABS(HDA(I)-HDB(I))
0133                AQUA(I) = KONST(I)*SQRT(AA)
0134            IF(HDB(I).GT.HDA(I))GOTO901
0135            AQUA(I) = -1.0*AQUA(I)
0136          901 CONTINUE
0137            WRITE(9,902)
0138          902 FORMAT(1H1,20X,'PIPENAME',10X,'NODA',5X,'NODB',10X,'HEADA',13X,
               1   'HEADB',12X,'KONST',7X,'AQUARIUS')
0139            WRITE(9,403)
0140          403 FORMAT(1H )
0141            DO904 I=1,NUM
0142            WRITE(9,903)PIPA(I),PIPB(I),NODA(I),NODB(I),HDA(I),HDB(I),
               1    ,KONST(I),AQUA(I)
0143          903  FORMAT(' ',21X,A3,A4,9X,I5,4X,I5,7X,E9.4,7X,E9.4,7X,E9.4,5X,
               1F11.4)
0144          904 CONTINUE
0145            IF(LSCRD(NUM).NE.2) GOTO999
0146          902 STOP
0147            END
```

ภาคผนวก จ.

ตัวอย่างผลพิมพ์คอมพิวเตอร์การวิเคราะห์ผลการทดลองที่ 21 โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ตามภาคผนวก ง.

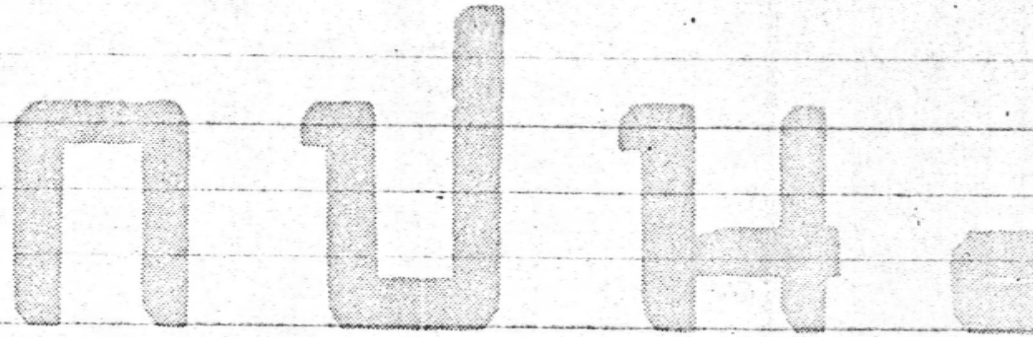
EXPT21 NUM = 30 NUP = 10 STAR = 1 ITERS = 500 CONST = 0.010 SUMQ = 1140.90

LSCRD	PIPENAME	NODA	NODB	HEADA	HEADB	KONST.
0		1	10	199.5000	155.0000	108.0100
0		1	2	199.5000	199.0000	94.2300
0		1	3	199.5000	201.0000	63.1200
0		2	1	199.0000	199.5000	94.2300
0		2	9	199.0000	195.4000	108.2700
0		2	5	199.0000	198.0000	76.6600
0		2	3	199.0000	201.0000	84.9300
0		3	1	201.0000	199.5000	63.1200
0		3	2	201.0000	199.0000	84.9300
0		3	4	201.0000	202.0000	76.7200
0		4	3	202.0000	201.0000	76.7200
0		4	5	202.0000	198.0000	84.7100
0		4	6	202.0000	198.5000	56.8400
0		5	2	198.0000	199.0000	76.6600
0		5	8	198.0000	181.0000	108.3600
0		5	6	198.0000	198.5000	76.6200
0		5	4	198.0000	202.0000	84.7100
0		6	5	198.5000	198.0000	76.6200
0		6	7	198.5000	182.0000	93.6500
0		6	4	198.5000	202.0000	56.8400
0		7	8	182.0000	181.0000	72.4300
0		7	6	182.0000	198.5000	93.6500
0		8	9	181.0000	195.4000	56.1200
0		8	7	181.0000	182.0000	72.4300
0		8	5	181.0000	198.0000	108.3600
0		9	10	195.4000	155.0000	96.0500
0		9	8	195.4000	181.0000	56.1200
0		9	2	195.4000	199.0000	108.2700
0		10	9	155.0000	195.4000	96.0500
1		10	1	155.0000	199.5000	108.0100

NODE(I)	HEAD(I)	KTAR(I)	QEXT(I)
1	199.5000	1	0.0
2	199.0000	0	0.0
3	201.0000	0	0.0
4	202.0000	0	0.0
5	198.0000	0	0.0
6	198.5000	0	0.0
7	182.0000	0	955.0000
8	181.0000	0	0.0
9	195.4000	1	0.0
10	155.0000	0	435.0000

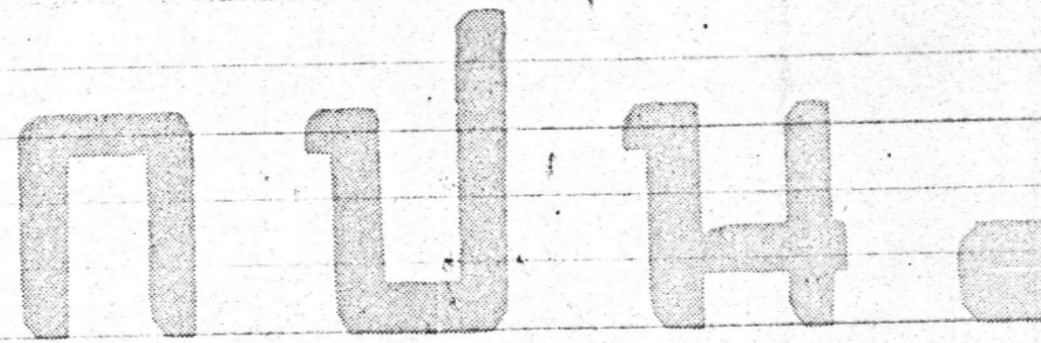
LEAST DHEAD CORRECTION FOR EACH NODE

0.0 -0.002 -0.003 -0.009 -0.008 -0.009 -0.009 -0.007 0.0 0.000



JZ = 42

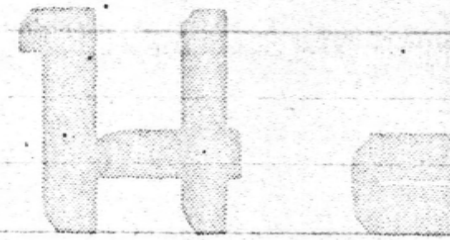
NODE(I)	HEAD(I)	KTAR(I)	QEXT(I)
1	199.5000	1	0.0
2	191.7777	0	0.0
3	189.7600	0	0.0
4	172.6112	0	0.0
5	171.2355	0	0.0
6	157.8056	0	0.0
7	129.3489	0	955.0000
8	168.8782	0	0.0
9	195.4000	1	0.0
10	192.7892	0	435.0000



PIPENAME	NODA	NODB	HEADA	HEADB	KONST	AQUARIUS
	1	10	199.5000	192.7892	108.0100	-279.8027
	1	2	199.5000	191.7777	94.2300	-261.8564
	1	3	199.5000	189.7600	63.1200	-195.9906
	2	1	191.7777	199.5000	94.2300	261.8564
	2	9	191.7777	195.4000	108.2700	206.0639
	2	5	191.7777	171.2355	76.6600	-347.4497
	2	3	191.7777	189.7600	84.9300	-120.6371
	3	1	189.7600	199.5000	63.1200	195.9906
	3	2	189.7600	191.7777	84.9300	120.6371
	3	4	189.7600	172.6112	76.7200	-317.7061
	4	3	172.6112	189.7600	76.7200	317.7061
	4	5	172.6112	171.2355	84.7100	-99.3577
	4	6	172.6112	157.8056	56.8400	-218.7094
	5	2	171.2355	191.7777	76.6600	347.4497
	5	8	171.2355	168.8782	108.3600	-166.3700
	5	6	171.2355	157.8056	76.6200	-280.7878
	5	4	171.2355	172.6112	84.7100	99.3577
	6	5	157.8056	171.2355	76.6200	280.7878
	6	7	157.8056	129.3489	93.6500	-499.5740
	6	4	157.8056	172.6112	56.8400	218.7094
	7	8	129.3489	168.8782	72.4300	455.3840
	7	6	129.3489	157.8056	93.6500	499.5740
	8	9	168.8782	195.4000	56.1200	+289.0139
	8	7	168.8782	129.3489	72.4300	-455.3840
	8	5	168.8782	171.2355	108.3600	166.3700
	9	10	195.4000	192.7892	96.0500	-155.1979
	9	8	195.4000	168.8782	56.1200	-289.0139
	9	2	195.4000	191.7777	108.2700	-206.0639
	10	9	192.7892	195.4000	96.0500	155.1979
	10	1	192.7892	199.5000	108.0100	279.8027

EXPT21 NUM = 30 NUP = 10 STAR = 1 ITERS = 500 CONST = 0.010 SUMQ = 1140.90

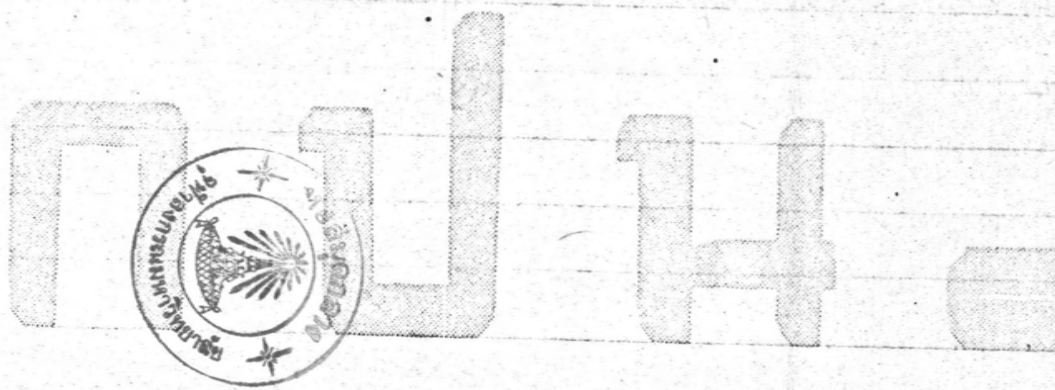
LSCRD	PIPENAME	NODA	NODB	HEADA	HEADB	KONST
0		1	10	199.5000	155.0000	111.5600
0		1	2	199.5000	199.0000	97.3200
0		1	3	199.5000	201.0000	67.4800
0		2	1	199.0000	199.5000	97.3200
0		2	9	199.0000	195.4000	115.7500
0		2	5	199.0000	198.0000	83.4600
0		2	3	199.0000	201.0000	90.7900
0		3	1	201.0000	199.5000	64.7800
0		3	2	201.0000	199.0000	90.7900
0		3	4	201.0000	202.0000	80.5900
0		4	3	202.0000	201.0000	80.5900
0		4	5	202.0000	198.0000	90.5600
0		4	6	202.0000	198.5000	60.7600
0		5	2	198.0000	199.0000	83.4600
0		5	8	198.0000	181.0000	115.8400
0		5	6	198.0000	198.5000	79.1300
0		5	4	198.0000	202.0000	90.5600
0		6	5	198.5000	198.0000	79.1300
0		6	7	198.5000	182.0000	103.9000
0		6	4	198.5000	202.0000	60.7600
0		7	8	182.0000	181.0000	80.3500
0		7	6	182.0000	198.5000	103.9000
0		8	9	181.0000	195.4000	57.9600
0		8	7	181.0000	182.0000	80.3500
0		8	5	181.0000	198.0000	115.8400
0		9	10	195.4000	155.0000	102.6800
0		9	8	195.4000	181.0000	57.9600
0		9	2	195.4000	199.0000	115.7500
0		10	9	155.0000	195.4000	102.6800
1		10	1	155.0000	199.5000	111.5600



NODE(I)	HEAD(I)	KTAR(I)	QEXT(I)
1	199.5000	1	0.0
2	199.0000	0	0.0
3	201.0000	0	0.0
4	202.0000	0	0.0
5	198.0000	0	0.0
6	198.5000	0	0.0
7	182.0000	0	955.0000
8	181.0000	0	0.0
9	195.4000	1	0.0
10	155.0000	0	435.0000

LEAST DHEAD CORRECTION FOR EACH NODE

0.0 -0.003 -0.004 -0.009 -0.009 -0.010 -0.009 -0.008 0.0 0.000



JZ = 42

NODE(I)	HEAD(I)	KTAR(I)	QEXT(I)
1	199.5000	1	0.0
2	192.0965	0	0.0
3	190.3607	0	0.0
4	175.0300	0	0.0
5	173.9251	0	0.0
6	161.8230	0	0.0
7	139.0163	0	955.0000
8	171.6145	0	0.0
9	195.4000	1	0.0
10	193.1525	0	435.0000

PIPENAME	NODA	NODB	HEADA	HEADB	KONST	AQUARIUS
	1	10	199.5000	193.1525	111.5600	-281.0667
	1	2	199.5000	192.0965	97.3200	-264.8010
	1	3	199.5000	190.3607	67.4800	-204.0002
	2	1	192.0965	199.5000	97.3200	264.8010
	2	9	192.0965	195.4000	115.7500	210.3807
	2	5	192.0965	173.9251	83.4600	-355.7725
	2	3	192.0965	190.3607	90.7900	-119.6154
	3	1	190.3607	199.5000	64.7800	195.8378
	3	2	190.3607	192.0965	90.7900	119.6154
	3	4	190.3607	175.0300	80.5900	-315.5464
	4	3	175.0300	190.3607	80.5900	315.5464
	4	5	175.0300	173.9251	90.5600	-95.1876
	4	6	175.0300	161.8230	60.7600	-220.8099
	5	2	173.9251	192.0965	83.4600	355.7725
	5	8	173.9251	171.6145	115.8400	-176.0847
	5	6	173.9251	161.8230	79.1300	-275.2778
	5	4	173.9251	175.0300	90.5600	95.1876
	6	5	161.8230	173.9251	79.1300	275.2778
	6	7	161.8230	139.0163	103.9000	-496.1885
	6	4	161.8230	175.0300	60.7600	220.8099
	7	8	139.0163	171.6145	80.3500	458.7568
	7	6	139.0163	161.8230	103.9000	496.1885
	8	9	171.6145	195.4000	57.9600	282.6726
	8	7	171.6145	139.0163	80.3500	-458.7568
	8	5	171.6145	173.9251	115.8400	176.0847
	9	10	195.4000	193.1525	102.6800	-153.9337
	9	8	195.4000	171.6145	57.9600	-282.6726
	9	2	195.4000	192.0965	115.7500	-210.3807
	10	9	193.1525	195.4000	102.6800	153.9337
	10	1	193.1525	199.5000	111.5600	281.0667

CHECK QUANTITY OF TAKEOFF AND INPUT

EXPT21 NUM = 30 NUP = 10 STAR = 1 ITERS = 500 CONST = 0.010 SUMQ = 1140.90

LSCRD	PIPENAME	NODA	NODB	HEADA	HEADB	KONST
0		1	10	199.5000	155.0000	103.9100
0		1	2	199.5000	199.0000	94.6400
0		1	3	199.5000	201.0000	59.2400
0		2	1	199.0000	199.5000	94.6400
0		2	9	199.0000	195.4000	106.6400
0		2	8	199.0000	198.0000	80.4500
0		2	3	199.0000	201.0000	86.1900
0		3	1	201.0000	199.5000	59.2400
0		3	2	201.0000	199.0000	86.1900
0		3	4	201.0000	202.0000	76.7400
0		4	3	202.0000	201.0000	76.7400
0		4	5	202.0000	198.0000	85.9900
0		4	6	202.0000	198.5000	56.8800
0		5	2	198.0000	199.0000	80.4500
0		5	8	198.0000	181.0000	106.7100
0		5	6	198.0000	198.5000	75.8200
0		5	4	198.0000	202.0000	85.9900
0		6	5	198.5000	198.0000	75.8200
0		6	7	198.5000	182.0000	95.1900
0		6	4	198.5000	202.0000	56.8800
0		7	8	182.0000	181.0000	73.9200
0		7	6	182.0000	198.5000	95.1900
0		8	9	181.0000	195.4000	56.8000
0		8	7	181.0000	182.0000	73.9200
0		8	5	181.0000	198.0000	106.7100
0		9	10	195.4000	155.0000	93.6800
0		9	8	195.4000	181.0000	56.8000
0		9	2	195.4000	199.0000	106.6400
0		10	9	155.0000	195.4000	93.6800
1		10	1	155.0000	199.5000	103.9100

NODE(I)	HEAD(I)	KTAR(I)	QEXT(I)
1	199.5000	1	0.0
2	199.0000	0	0.0
3	201.0000	0	0.0
4	202.0000	0	0.0
5	198.0000	0	0.0
6	198.5000	0	0.0
7	182.0000	0	955.0000
8	181.0000	0	0.0
9	195.4000	1	0.0
10	155.0000	0	435.0000

LEAST DHEAD CORRECTION FOR EACH NODE

0.0 -0.003 -0.004 -0.009 -0.009 -0.009 -0.009 -0.008 0.0 0.000

JZ = 42

NODE(I)	HEAD(I)	KTAR(I)	QEXT(I)
1	199.5000	1	0.0
2	191.5171	0	0.0
3	189.4958	0	0.0
4	173.1778	0	0.0
5	172.0253	0	0.0
6	158.4761	0	0.0
7	131.1869	0	955.0000
8	169.5242	0	0.0
9	195.4000	1	0.0
10	192.4883	0	435.0000

PIPE NAME	NODA	NODB	HEADA	HEADB	KONST	AQUARIUS
	1	10	199.5000	192.4883	103.9100	-275.1489
	1	2	199.5000	191.5171	94.6400	-267.3965
	1	3	199.5000	189.4958	59.2400	-187.3727
	2	1	191.5171	199.5000	94.6400	267.3965
	2	9	191.5171	195.4000	106.6400	210.1358
	2	5	191.5171	172.0253	80.4500	-355.1824
	2	3	191.5171	189.4958	86.1900	-122.5375
	3	1	189.4958	199.5000	59.2400	187.3727
	3	2	189.4958	191.5171	86.1900	122.5375
	3	4	189.4958	173.1778	76.7400	-309.9954
	4	3	173.1778	189.4958	76.7400	309.9954
	4	5	173.1778	172.0253	85.9900	-92.3133
	4	6	173.1778	158.4761	56.8800	-218.0934
	5	2	172.0253	191.5171	80.4500	355.1824
	5	8	172.0253	169.5242	106.7100	-168.7598
	5	6	172.0253	158.4761	75.8200	-279.0872
	5	4	172.0253	173.1778	85.9900	92.3133
	6	5	158.4761	172.0253	75.8200	279.0872
	6	7	158.4761	131.1869	95.1900	-497.2637
	6	4	158.4761	173.1778	56.8800	218.0934
	7	8	131.1869	169.5242	73.9200	457.6912
	7	6	131.1869	158.4761	95.1900	497.2637
	8	9	169.5242	195.4000	56.8000	288.9314
	8	7	169.5242	131.1869	73.9200	-457.6912
	8	5	169.5242	172.0253	106.7100	168.7598
	9	10	195.4000	192.4883	93.6300	-159.8518
	9	8	195.4000	169.5242	56.8000	-288.9314
	9	2	195.4000	191.5171	106.6400	-210.1358
	10	9	192.4883	195.4000	93.6800	159.8518
	10	1	192.4883	199.5000	103.9100	275.1489

ภาคผนวก ฉ

คุณสมบัติของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ
สัมประสิทธิ์ความเสียดทานในเส้นท่อที่ใช้ในการคำนวณออกแบบ
ความยาวเสมือนของส่วนประกอบต่าง ๆ ของท่อในการคิดค่าการสูญเสียความดัน

ตาราง ฉ. 1 ค่าเฉลี่ยสำหรับ f, สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของเส้นท่อ (สำหรับใช้ในสมการของดาร์ซี่ ไว้ส์บาคซ์ $hf = \frac{fL\ V^2}{D.2g}$)

(For Use in Darcy's Formula $hf = f\frac{L}{D}\frac{V^2}{2g}$)

Normal size of pipe, in	Brass, copper or lead pipe, f	Galvanized steel or wrought iron pipe, f
⅜	0.023	0.058
½	0.022	0.044
¾	0.021	0.040
1	0.020	0.038
1½	0.020	0.036
1½	0.019	0.035
2	0.018	0.033
2½	0.017	0.031
3	0.017	0.031
4	0.016	0.030

Source: Nielsen, L.S. 1963. Standard Plumbing Engineering Design, McGraw-Hill Book Company, p. 115.

ตาราง ฉ.2 ความยาวเส้นท่อเสมือนสำหรับส่วนประกอบต่าง ๆ และหัวประตูน้ำ

Table 5 - Minor Losses of Head as Equivalent Lengths

Nature of Special Resistance	Loss in Pipe Diameters	Nature of Special Resistance	Loss in Pipe Diameters
Angle Valve		Tee	
Open	170	Flow Through Run	20
Check Valve		Flow Side to Run or Run to Side	
Swing Type. Open	80	No Throat	65
		With Throat	45
Gate Valve			
Wide Open	7	Lateral	45
1/4 Closed	40		
		Sudden Contraction	
1/2 Closed	200	d/D = 1/4	15
3/4 Closed	850	d/D = 1/2	12
		d/D = 3/4	7
Glove Valve			
Open	340	Sudden Enlargement	
Standard Elbow	32	d/D = 1/4	32
Long Swing Elbow	20	d/D = 1/2	20
45° Elbow	15	d/D = 3/4	7

Source: Asian Institute of Technology. 1968. Practical Hydraulics for the Public Works Engineer, September 1968, p. 7.

ตาราง ฉ. 3 คุณสมบัติของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ

Temp., °C	Specific gravity	Density g/cm^3	Heat of vaporization cal/g	Viscosity		Vapor pressure		
				Absolute centipoises	Kinematic, centistokes	mm Hg	Millibars	G/cm^2
0	0.99987	0.99984	597.3	1.79	1.79	4.58	6.11	6.23
5	0.99999	0.99996	594.5	1.52	1.52	6.54	8.72	8.89
10	0.99973	0.99970	591.7	1.31	1.31	9.20	12.27	12.51
15	0.99913	0.99910	588.9	1.14	1.14	12.78	17.04	17.38
20	0.99824	0.99821	586.0	1.00	1.00	17.53	23.37	23.83
25	0.99708	0.99705	583.2	0.890	0.890	23.76	31.67	32.30
30	0.99568	0.99565	580.4	0.798	0.801	31.83	42.43	43.27
35	0.99407	0.99404	577.6	0.719	0.723	42.18	56.24	57.34
40	0.99225	0.99222	574.7	0.653	0.658	55.34	73.78	75.23
50	0.98807	0.98804	569.0	0.547	0.554	92.56	123.40	125.83
60	0.98323	0.98320	563.2	0.466	0.474	149.46	199.26	203.19
70	0.97780	0.97777	557.4	0.404	0.413	233.79	311.69	317.84
80	0.97182	0.97179	551.4	0.355	0.365	355.28	473.67	483.01
90	0.96534	0.96531	545.3	0.315	0.326	525.89	710.13	714.95
100	0.95839	0.95836	539.1	0.282	0.294	760.00	1013.25	1033.23

Maximum density is 0.999973 g/cm^3 centipoise : g/(cm) (sec)(10^2) centistokes : cm^2/sec/10^2

Source: Linsley; Kohler, and Paulhus. Hydrology for Engineers, Second Edition, McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering; McGraw-Hill Book Company, p. 448.

ผนวก ช.

ความยาวส่วนต่าง ๆ ของข่ายงานท่อขั้นที่ 2

เมื่อคิดค่าความยาวเสมือนที่สามทางและสี่ทางลงไปด้วย

จากตาราง จ. 2 ในภาคผนวก จ.

- ที่จุดที่เป็นสามทางและสี่ทางทุกจุด ถือเป็นสามทางวิ่งจากตรงไปข้าง ดังนั้นจะทำให้ความยาวเสมือน เป็น 65 เท่า ของเส้นผ่าศูนย์กลาง

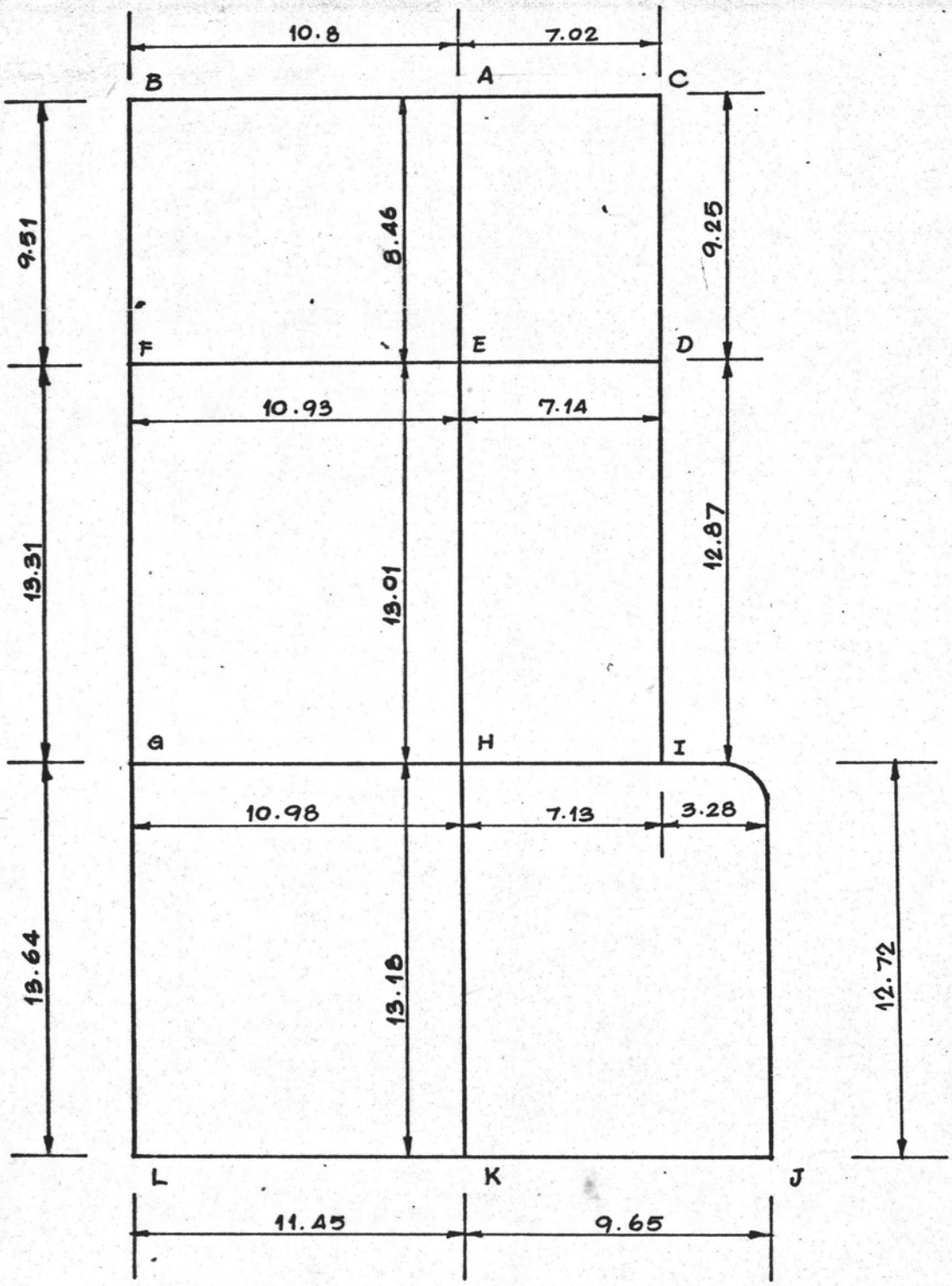
  $\therefore$ ความยาวเสมือน = 65×2.85 = 185 ซ.ม.

- ที่จุดที่เป็นข้อโค้งทำให้เกิดความยาวเสมือน 32 เท่า ของเส้นผ่าศูนย์กลาง

  $\therefore$ ความยาวเสมือน = 32×2.85 = 91.2 ซ.ม.

  จากค่าความยาวเสมือนตามจุดที่คิดความยาวเสมือนเหล่านี้ นำค่าความยาวเสมือนบวกลงไปกับความยาวจริงของเส้นท่อ ตามรูป 4 – 12 จะได้ความยาวของเส้นท่อช่วงต่าง ๆ สำหรับคำนวณค่า k ตามสมการ (2 – 24) ต่อ

หมายเหตุ ความยาวในรูป ฉ.1 สำหรับเส้นท่อช่วง DI นั้น รวมค่าความยาวเสมือน เนื่องจากมาตรวัดแบบรูระบายเพิ่มลงไปอีกด้วย ซึ่งค่านี้ไม่แน่นอนเปลี่ยนแปรไปตามสภาพการไหลในแต่ละระบบ ดังนั้นจึงไม่ได้ให้ค่าไว้



รูป ข.1. ความยาวของช่วงเส้นท่อของท่ายงานท่อจำลองชั้นที่ 2 เมื่อรวมต่ากาศสูญเสียความดันบ่อยที่สามทางและสี่ทางลงไปด้วย.

ประวัติการศึกษา

ชื่อ	นายชาญชัย ไพโรหกุล
วุฒิการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2516
ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน	นายช่างอันดับหนึ่ง กองวางแผนและควบคุมโครงการ การประปานครหลวง