

우리나라 河川의 水理幾何學的 特性에 關한 研究

池 貞 煥* 高 在 雄**

1. 序 論

自然水路의 形態學的인 特性을 流出量과 相關지어 規明하고자 하는 노력이 많았다. 이들 河川의 形態學에 關連된 變數들은 수없이 많으나 중요한 것만 열거한다면 유역면적, 유로연장, 하천종단경사, 유량 및 유사량 등 여러가지가 있다.

自然河川은 이들 變數들이 서로 상호작용을 하면서 평형수로를 유지하려는 特性을 갖고 있다. 특히 河川은 流量과 流砂量을 소통시키는 流路로서 流路를 形成하는 河床物質에 따라 河川의 幾何學的인 特性이 변동되면서 어떤 기간동안은 動的平衡 狀態에 도달하게 되는 것이다.

本 研究에서는 우리나라 大河川들에 대해서 河川의 형태학적인 特性을 규명하고 이를 바탕으로 動的平衡이 이룩된것으로 예상되는 河川區間들의 기하학적 특성과 유출과의 상관성을 검토하여 앞으로 이룩될 종합개발 계획이나 하천 개수계획 수립에 있어서 기본이 될 기준을 마련하고자 한다.

연구방법은 한강, 낙동강, 금강, 영산강 및 섬진강 등 5大 河川을 우선적으로 선정하여 최근에 조사된 자료를 입수하여, 가능하면 기설땀 등에 의한 유량변동의 영향이 극히 적은 하천구간을 선택하여 하천공학적인 측면에서 중요한 수리특성과 하천의 幾何學的인 特性을 규명하기 위해서 홍수 빈도해석을 한 후 유로의 길이와 유역면적과의 상관식, 만제유량과 유역면적과의 상관식을 정립하였다. 이들 상관식을 이용하여 임의지점에서 만제유량(BANKEFULL DISCHARGE)를 구하여 水理幾何 관계식을 분석하였다.

또한 5大 河川 本流區間에서 계획홍수량시 河床傾斜 및 에너지경사식과 水理特性係數를 구하여 이들을 계획하폭 결정하는 식에 적용하여 향후 계획하폭결정에있어서 수리학적 특성요소를 고려한 실용적 식이 되도록 하였다.

2. 資料 및 解析

* 경원전문대학 토목과 부교수

** 건국대학교 토목공학과 교수

2.1. 洪水 頻度 解析

우리 나라 5大 河川인 한강, 낙동강, 금강, 영산강 및 섬진강의 수위 관측소 28개지점을 선정하, 여 1970년부터 1990년까지의 최고수위 기록을 갖고 홍수빈도 해석을 하였다.

홍수량 빈도해석 방법은 Log-Pearson Type III 法으로 해석하였으며, 각 유역과 지점별로 지역화

표 (2.1) 수계별 빈도별 유량(Qp) (1970-1990년)

단위: (m³/sec)

| 수계 | 수위지점 | 확률 빈도 | 99 | 95 | 90 | 80 | 50 | 43 | 20 | 10 | 4 | 2 | 1 | 0.5 |
|---------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 1.010 | 1.053 | 1.111 | 1.25 | 2 | 2.33 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 | 200 |
| 한 강 | 인도교 | | 2236 | 3134 | 3778 | 4768 | 7597 | 8400 | 12425 | 16253 | 21824 | 26507 | 31686 | 37404 |
| | 고 안 | | 2166 | 3036 | 3660 | 4619 | 7359 | 8137 | 12037 | 15744 | 21142 | 25678 | 30695 | 36234 |
| | 여 주 | | 1305 | 1829 | 2205 | 2783 | 4433 | 4902 | 7251 | 9485 | 12736 | 15469 | 18491 | 21828 |
| | 청 평 | | 1259 | 1764 | 2127 | 2684 | 4277 | 4729 | 6995 | 9150 | 12287 | 14923 | 17839 | 21058 |
| | 춘 천 | | 1043 | 1462 | 1763 | 2225 | 3544 | 3919 | 5797 | 7583 | 10182 | 12367 | 14783 | 17451 |
| 낙 동 강 | 왜 관 | | 1357 | 2063 | 2533 | 3191 | 4728 | 5092 | 6588 | 7654 | 8835 | 9609 | 10306 | 10938 |
| | 동 춘 | | 365 | 555 | 681 | 858 | 1272 | 1370 | 1772 | 2059 | 2376 | 2585 | 2772 | 2942 |
| | 현 풍 | | 1586 | 2412 | 2961 | 3731 | 5529 | 5954 | 7702 | 8950 | 10330 | 11236 | 12050 | 12789 |
| | 진 동 | | 2033 | 3091 | 3795 | 4781 | 7085 | 7629 | 9870 | 11468 | 13238 | 14398 | 15442 | 16389 |
| | 낙 등 | | 1214 | 1845 | 2266 | 2854 | 4230 | 4555 | 5893 | 6847 | 7904 | 8596 | 9219 | 9785 |
| | 삼랑진 | | 2201 | 3347 | 4109 | 5177 | 7672 | 8262 | 10689 | 12419 | 14336 | 15592 | 16722 | 17748 |
| | 정 암 | | 603 | 917 | 1126 | 1419 | 2103 | 2265 | 2930 | 3404 | 3929 | 4274 | 4584 | 4865 |
| | 적포교 | | 1766 | 2686 | 3297 | 4154 | 6156 | 6630 | 8577 | 9966 | 11503 | 12511 | 13418 | 14241 |
| | 개 진 | | 246 | 375 | 460 | 579 | 858 | 924 | 1196 | 1390 | 1604 | 1745 | 1871 | 1986 |
| | 고령교 | | 1589 | 2417 | 2967 | 3739 | 5540 | 5966 | 7718 | 8968 | 10352 | 11259 | 12075 | 12816 |
| 금 호 | | 274 | 416 | 511 | 643 | 953 | 1027 | 1328 | 1543 | 1782 | 1938 | 2078 | 2206 | |
| 금 강 | 규 암 | | 758 | 1319 | 1729 | 2346 | 3944 | 4350 | 6111 | 7450 | 9005 | 10061 | 11035 | 11938 |
| | 공 주 | | 713 | 1240 | 1626 | 2206 | 3708 | 4089 | 5745 | 7005 | 8466 | 9459 | 10375 | 11223 |
| | 석 화 | | 253 | 440 | 577 | 782 | 1315 | 1451 | 2038 | 2485 | 3003 | 3355 | 3680 | 3981 |
| | 용 담 | | 184 | 321 | 420 | 570 | 959 | 1057 | 1485 | 1811 | 2189 | 2445 | 2682 | 2901 |
| | 옥 천 | | 381 | 663 | 869 | 1179 | 1982 | 2186 | 3071 | 3744 | 4526 | 5056 | 5546 | 5999 |
| 영 산 강 및 섬 진 강 | 나 주 | | 343 | 563 | 719 | 951 | 1543 | 1693 | 2349 | 2856 | 3456 | 3873 | 4267 | 4636 |
| | 남 평 | | 147 | 241 | 308 | 407 | 661 | 725 | 1005 | 1222 | 1479 | 1658 | 1826 | 1984 |
| | 마 특 | | 165 | 270 | 345 | 456 | 740 | 812 | 1127 | 1370 | 1658 | 1858 | 1826 | 2224 |
| | 선 암 | | 137 | 225 | 288 | 381 | 681 | 678 | 940 | 1143 | 1383 | 1550 | 1708 | 1856 |
| | 압 록 | | 385 | 632 | 807 | 1068 | 1732 | 1901 | 2636 | 3205 | 3878 | 4347 | 4788 | 5203 |
| | 송 정 | | 557 | 913 | 1167 | 1543 | 2504 | 2748 | 3811 | 4634 | 5607 | 6285 | 6923 | 7523 |
| | 광 천 | | 215 | 352 | 450 | 595 | 966 | 1060 | 1470 | 1788 | 2163 | 2424 | 2670 | 2902 |
| | 적 성 | | 259 | 425 | 543 | 718 | 1165 | 1279 | 1773 | 2157 | 2609 | 2925 | 3222 | 3501 |

조정된 m. s. g를 써서 홍보빈도 유량을 算定하였다.

그 결과는 表(2.1)에 표시되어 있다.

2. 2. 流路의 길이와 流域面積

우리 나라 하천 流域의 形態學的 特性을 파악하기 위해 한강, 낙동강, 금강, 영산강 및 섬진강 유역의 水系別로 流路연장과 유역면적을 調査한 후 유로의 길이와 유역면적과의 相關式을 分析하였다. 전국에 대한 상관식은 여기에 안성천과 삼교천 유역을 포함시켜 7大河川의 資料를 이용하였으며, 그 결과가 그림(2.1)에 表示되어 있듯이 $L = 1.56Ad^{0.568}$ ($r = 97\%$)이다.

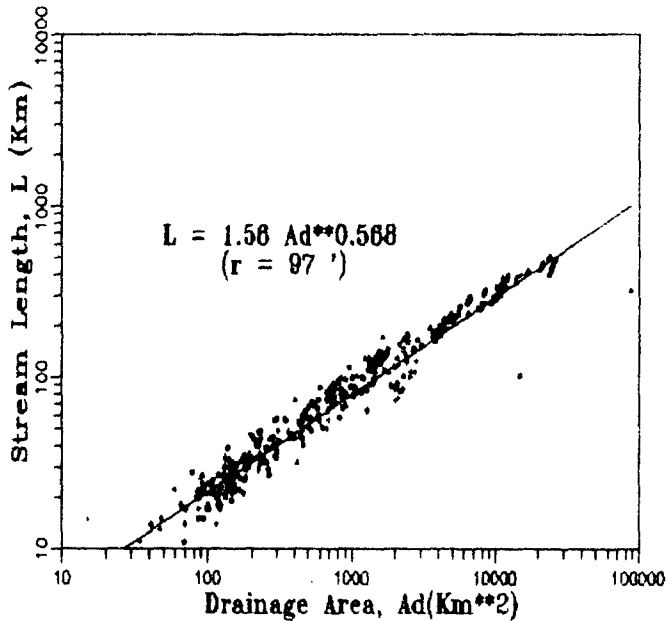


그림 (2.1) 전국의 하천 길이와 유역면적 상관도

2. 3. 滿堤流量과 流域面積

표 (2.1)에 나와 있는 수위 관측소별 $Q_{2.33}$ (만제유량)과 그 수위표 지점에 유역면적과의 상관분석 결과가 다음 (2.1)-(2.5)식과 같다.

전 국 : $Q_{2.33} = 10.305Ad^{0.6655}$ (2.1)

한 강 : $Q_{2.33} = 9.906Ad^{0.6655}$ (2.2)

낙동강 : $Q_{2.33} = 10.266Ad^{0.6655}$ (2.3)

금 강 : $Q_{2.33} = 10.657Ad^{0.6655}$ (2.4)

영산강 및 섬진강 $Q_{2.33} = 10.478Ad^{0.6655}$ (2.5)

2.4. 滿堤 流量과 水理幾何學의 相關

各 河川別 流路연장과 流域面積과의 相關式으로부터 各 河川에서 요구되는 횡단측점에 대한 유역 면적을 계산한 다음 滿堤流量과 流域面積과의 相關式으로 滿堤流量을 計算하였다.

이 유량에 해당되는 수면폭, 평균 수심 및 평균 유속을 각 하천의 직선구간에서 구하여 만제유량과 상관시켜 분석한 결과가 표(2.2)에 전국 및 각 하천에 대한 것이 나와 있다.

表 (2.2) 전국 및 각 하천별 만제유량과 하폭, 평균수심, 평균유속 상관식

| 수계별 | 상 관 식 | | | 비 고 |
|-----|---|--|--|-----|
| | 하 폭(B) | 평균수심(D) | 평균유속(V) | |
| 전 국 | $B = 0.841 Q_{2.33}^{0.769}$ (r=86%) | $D = 0.037 Q_{2.33}^{0.581}$ (r=84%) | $V = 32.266 Q_{2.33}^{-0.35}$ (r=70%) | |
| 한 강 | $B = 0.151 Q_{2.33}^{0.946}$ (r=80%) | $D = 0.042 Q_{2.33}^{0.653}$ (r=65%) | $V = 161.514 Q_{2.33}^{-0.513}$ (r=55%) | |
| 낙동강 | $B = 5.461 Q_{2.33}^{0.557}$ (r=76%) | $D = 0.005 Q_{2.33}^{-0.820}$ (r=82%) | $V = 39.397 Q_{2.33}^{-0.376}$ (r=67%) | |
| 금 강 | $B = 1.341 Q_{2.33}^{0.710}$ (r=47%) | $D = 0.013 Q_{2.33}^{0.703}$ (r=82%) | $V = 57.916 Q_{2.33}^{-0.412}$ (r=30%) | |
| 섬진강 | $B = 0.387 Q_{2.33}^{0.852}$ (r=68%) | $D = 0.008 Q_{2.33}^{0.804}$ (r=82%) | $V = 315.34 Q_{2.33}^{-0.654}$ (r=60%) | |

2.5 河川의 傾斜

최근에 河川調査가 이루어진 大河川 즉 한강, 낙동강, 금강 및 섬진강의 하천 정비기본계획에 나와 있는 測量成果를 가지고 河川의 流路연장과 河床 종단 경사, 에너지 경사 및 수면경사와의 상관식을 계획 홍수량이 흐를 경우에 대해서 표(2.3)와 같이 계산하였다.

2.6. 계획하폭

流路의 幾何學的 特性을 水理學的으로 연관시킨 식은 Manning과 Chezy의 평균유속공식이 대표적이라 할 수 있다.

Manning과 Chezy의 평균유속공식을 적용하여 하폭에 관한 식으로 구한 후 실제 하천에서 流水斷面積에 대한 평균수심과 하천특성 계수를 적용하여 다음 표(2.4)와 같이 낙동강과 금강에 대한 하폭상관식을 결정하였다.

表 (2.3) 河川別 河床傾斜 에너지 경사 및 수면경사 상관식

| 河川別 | 河床傾斜 (IB) | 에너지 경사 (If) | 水面傾斜 (IW) | 비고 |
|-----|---|---|---|----|
| 한 강 | $I_B = 1.08 \times 10^{-4} L^{0.15}$ (r=65%) | $I_f = 1.78 \times 10^{-4} L^{0.15}$ (r=63%) | $I_w = 1.13 \times 10^{-4} L^{0.15}$ (r=66%) | |
| 낙동강 | $I_B = 1.61 \times 10^{-5} L^{0.29}$ (r=85%) | $I_f = 1.23 \times 10^{-5} L^{0.31}$ (r=92%) | $I_w = 1.21 \times 10^{-5} L^{0.31}$ (r=92%) | |
| 금 강 | $I_B = 2.36 \times 10^{-5} L^{0.37}$ (r=54%) | $I_f = 3.17 \times 10^{-5} L^{0.18}$ (r=94%) | $I_w = 2.85 \times 10^{-5} L^{0.19}$ (r=94%) | |
| 섬진강 | $I_B = 1.77 \times 10^{-5} L^{0.37}$ (r=97%) | $I_f = 9.45 \times 10^{-6} L^{0.43}$ (r=96%) | $I_w = 8.16 \times 10^{-6} L^{0.44}$ (r=97%) | |

(表 2.4) 낙동강 및 금강의 계획하폭 공식

| 공식별 | 낙 동 강 | 금 강 | 비 고 |
|------------|--|--|---|
| Manning 공식 | $B = \frac{n^{1.01} Q^{1.01}}{1.21 H^{1.66} I_f^{0.50}}$ | $B = \frac{n^{1.21} Q^{1.21}}{9.15 H^{1.47} I_f^{0.43}}$ | 평균수심(H) $\frac{1}{-}$ $B = \left(\frac{n Q}{a_1 H^{5 \times 1 / 3} I_f^{1 / 2}} \right) \chi_1$ |
| | $B = \frac{n^{1.06} Q^{1.06}}{1.88 h^{1.62} I_f^{0.48}}$ | $B = \frac{n^{1.07} Q^{1.07}}{2.08 h^{1.60} I_f^{0.47}}$ | 평균수심(h) $\frac{1}{-}$ $B = \left(\frac{n Q}{a_2 h^{5 \times 2 / 3} I_f^{1 / 2}} \right) \chi_2$ |
| Chezy 공식 | $B = \frac{Q^{1.06}}{1.82 C^{1.06} H^{1.45} I_f^{0.48}}$ | $B = \frac{Q^{0.99}}{0.92 C^{0.99} H^{1.51} I_f^{0.5}}$ | 평균수심(H) $\frac{1}{-}$ $B = \left(\frac{Q}{cd_1 H^{3 \times 1 / 2} I_f^{1 / 2}} \right) \psi_1$ |
| | $B = \frac{Q^{1.01}}{1.14 H^{1.01} h^{1.49} I_f^{0.50}}$ | $B = \frac{Q^{1.07}}{2.60 H^{1.07} h^{1.43} I_f^{0.48}}$ | 평균수심(h) $\frac{1}{-}$ $B = \left(\frac{Q}{c \cdot d \cdot 1 h^{3 \times 2 / 2} I_f^{1 / 2}} \right) \psi_2$ |

3. 검토 및 고찰

3.1. 流路의 길이와 유역면적

우리나라 하천의 水理幾何學의 特性을 파악하고자 流路의 길이와 流域面積을 상관 分析한 결과 表(3.1)와 같다. 그리고 表(3.2)에는 외국과 비교한 값이 나와 있다.

表(3.1) 우리나라 각하천별 유로연장과 유역면적 상관식의 계수와 지수값

| 하천별 | 상관식 | 상관율(%) | C | P | 비고 |
|-----|---------------------|--------|------|-------|----|
| 전국 | $L=1.56 Ad^{0.568}$ | 97 | 1.56 | 0.568 | |
| 한강 | $L=1.60 Ad^{0.570}$ | 98 | 1.60 | 0.570 | |
| 낙동강 | $L=1.95 Ad^{0.550}$ | 99 | 1.95 | 0.550 | |
| 금강 | $L=1.58 Ad^{0.565}$ | 93 | 1.58 | 0.565 | |
| 영산강 | $L=2.20 Ad^{0.483}$ | 97 | 2.20 | 0.483 | |
| 섬진강 | $L=1.29 Ad^{0.614}$ | 98 | 1.29 | 0.614 | |

表(3.2) 우리나라 전국과 외국과의 비교

| 구별 지명 | 상관식 | C | P | 비고 |
|-------------------------|---------------------|---------------|------------|--|
| 전국 (우리나라) | $L=1.56 Ad^{0.568}$ | 1.56 | 0.568 | 한강, 낙동강, 금강, 영산강, 섬진강, 삼교천 안성천 자료 |
| Appalachima Mountain | $L=1.43 Ad^{0.59}$ | 1.43 | 0.59 | Hack의 연구 |
| 펜실바니아 | | 0.50~ 2.50 | 1~ 0.50 | Lucien and Brush의 연구. (16개 하천) |
| 세계 | $L=1.31 Ad^{0.568}$ | 1.31 | 0.568 | Eagleson에 의해서 세 계의 주요 하천을 대상 으로 연구 |

3.2. 滿堤流量과 水理幾何 因子 關係

自然河川 횡단면에서 水面幅(w), 平均水深(d), 平均流速(v)과 流量(Q_{2.33})은 다음과 같은 관계가 있다.

$$W = aQ^b$$

(1)

$$d = cQ' \tag{2}$$

$$V = kQ^m \tag{3}$$

수면폭, 평균수심 및 평균유속이 상식(1), (2), (3)으로 묘사할 수 있는 유량의 함수이기 때문에 이 식들은 항등식으로 관련 지을 수 있다.

$$Q = W \times D \times V \tag{4}$$

즉 $Q = aQ^b \times cQ' \times kQ^m$ 또는 $Q = a \times c \times kQ^{b+m}$ 이다.

$$\therefore b + f + m = 1, \quad a \times c \times k = 1 \tag{5}$$

우리나라 중요하천 본류구간에 대해서 만제유량에 대한 수면폭, 평균수심 및 평균 유속을 실측하여 각각의 상관식이 표 (2.2)에서 $b + m + f$ 과 $a \times c \times k$ 값을 표(3.3)에 나타냈다. 표(3.4)은 외국과 비교한 것이다.

(表 3.3) 우리나라 하천의 수리기하인자(직선수로)

| 하천별 | b | f | m | b+f+m | a | c | k | axcxk | 비고 |
|-----|-------|-------|--------|-------|-------|-------|---------|-------|----|
| 전 국 | 0.769 | 0.581 | -0.350 | 1.004 | 0.841 | 0.037 | 32.266 | 1.070 | |
| 한 강 | 0.946 | 0.653 | -0.513 | 1.020 | 0.151 | 0.042 | 161.514 | 1.000 | |
| 낙동강 | 0.557 | 0.820 | -0.376 | 1.076 | 5.461 | 0.005 | 39.397 | 1.001 | |
| 금 강 | 0.710 | 0.703 | -0.412 | 1.010 | 1.341 | 0.013 | 57.916 | 1.001 | |
| 섬진강 | 0.582 | 0.804 | -0.654 | 0.976 | 0.387 | 0.008 | 315.34 | 1.002 | |

表 (3.4) 수리지수의 비교

| 우리나라 전국 | (13) Lucien, Brush의 연구 | (14) Leopold, Maddock의 연구 |
|----------|---------------------------|------------------------------|
| b=0.769 | b=0.55 | b=0.5 |
| f=0.581 | f=0.36 | f=0.4 |
| m=-0.350 | m=0.09 | m=0.1 |

3.3. 계획하폭

계획 홍수량이 흐르는 경우 各河川에서의 대체적인 河幅의 기준을 理論的으로 유도할 수 있는 기준을 마련하였고 여기에 각 하천 특성 계수라는 하천기하학적 성격의 계수를 적용하여 실용성을 한

층 높였다.

계획하폭 식중에 나오는 변수 가운데 유량(Q), Manning의 조도계수(n), 평균수심(H혹은 h) 등은 주어진 지형여건에 따라 쉽게 결정되나 에너지 경사(I_f)는 그렇지 않으므로 表(2.3)에 나와있는 식을 사용하여 산정하도록 하였다.

4. 結 論

本 研究는 우리나라 大河水의 水理幾何學의 特性에 關한 研究를 重點的으로한 것으로서 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) 우리나라 대하천의 유로길이(L)와 유역면적(A_d)를 상관분석한 결과는 $L=1.56 A_d^{0.568}$ 로서 상관율은 97%이었고, 이상관식의 역지수는 Eagleson이 세계하천에 대해 연구한 결과와 동일하였다.

2) 유로의 기하학적 특성을 수리학적으로 연관시킨 Manning과 Chezy의 평균유속공식을 적용하여 하천의 평형을 고려한 계획하폭식이 제시되었으므로 하천개수계획에 효율적으로 이용될 수 있을 것이다.

3) 우리나라 4대하천인 한강, 낙동강, 금강 및 섬진강에 대한 만제유량과 각하천의 구간에서 평형상태인 직선수로에서의 임의의 지점에 대한 하폭, 평균수심, 평균유속을 각각 상관 분석한 결과가 표(2.2)와 같은 결과가 나왔다. 이 결과를 외국의 연구결과와 비교하였을 때 평균수심지수 f가 외국에 비하여 크고 평균유속지수 m은 적은 한편 우리나라 하천의 m값은 모두 "- "이다. 이것은 외국과는 반대로 우리나라 하천의 상류지역은 유속이 크고 하류로 갈수록 유속이 작게되는 현상이다.

참고 문헌

- (1) 건설부, 한국하천 조사서, 1974
- (2) 건설부, 한강하천정비기본계획서, 1977. 12.
- (3) 건설부, 낙동강 하천정비기본계획서, 1981. 12
- (4) 건설부 금강 하천정비기본계획서, 1985. 12
- (5) 건설부 섬진강 하천정비기본계획서, 1989. 12.
- (6) 高在雄, "Log-Pearson Type III에 의한 홍수빈도 해석", 전국대학교 연구보고 제2집, 1976.
- (7) 高在雄, "만곡수로에서의 하상변동에 관한 연구", 한국수문학회지, 제8권 2호, 1975. 12., pp. 280.
- (8) ASCE Task Force on Friction Factors in Open channels, "Friction Factors in open Channels", Jour. Hydr. Div., ASCE, Vol. 89, NoHyz, pp.97-143, 1963.

- (9) Blench, T., "Regime Theory for Self-Formed Sediment Bearing channels", Transaction, ASCE, Vol117, No. 2499, 1951, pp.1-18.
- (10) Horton R.E., "Erosional developmnet of stream and their drainage basins-Hydrophysical Approach to quantitative morphology", Geol, soc, America bull., 1945, v. 56, p. 275-370.
- (11) Stall, J.B. and Yang, C.T., "Hydraulic geometry of 12 selected stream System of the United states", Research Rept., No32, water Resources Center, 1970.
- (12) Stall, J.B and Yang, C.T., "Hydraulic geometry and low streamflow regimen", University fo Illions water resources Center research report, No54, 1972.
- (13) Lucien M. Brush, JR, "A Study of the influence of the geologic Characteristics of 16 natural stream channels at 119 Sampling stations", United states Government Printing office, washington, 1961.
- (14) Leopold, Maddock, "The hydraulic Geometry of Stream Channel and some Physiographic Implications", U. S. G. S. 1953.