

# 유수지 배수시설의 계획설계에 관한 연구

연세대학교 교수 이원환  
연세대학교 박사과정 이재준

## 1. 서론

산업혁명 이후 오늘날의 대공업도시의 출현과 인구의 대도시 집중현상은 용수 수급에 새로운 문제점을 제기하였으며, 늘어난 인구에 의해 대도시에서는 배수처리 즉, 하수문제가 심각하게 되었다. 또한 근래 도시 주택난으로 도시 고지대 경사지의 무모한 택지개발이용이나 하천 주변 저지의 매립과 택지화는 자연이 갖고 있는 유수지의 강소와 함께 내수침수현상등으로, 또한 급경사지는 토석류, 산사태, 축대 붕괴등으로 새로운 도시 홍수 재해를 유발시키고 있어 방재를 위한 연구와 노력은 우리나라 경제. 사회면에서 중요한 문제점으로 대두되어 왔다.

본 연구에서는 도시 홍수재해의 기본이 되는 유수지 배수시설의 설계기준을 검토하고, 1984년 9월의 한강유역 홍수로 인한 한강 하류부에 위치한 서울시내 망월동 유수지의 수문상자 붕괴사고를 분석하고자 한다.

## 2. 내수 계획과 내수 처리 방식

한강 하류부에 위치한 서울 지역에서는 한강유역의 홍수특성으로 미루어 볼 때 홍수기에는 외수위가 내수위보다도 항상 더 크며 도래시각도 선행되고 있다. 이와 같은 전제에서 대부분의 한강변에 설치된 수문들은 외수침입을 방지 하기 위한 방수문으로서의 기능을 충실하게 발휘하도록 계획 및 설계되어 있었다.

그러나 인구의 증가와 토지 이용도의 고도화에 따라 제내지에서의 침수가 빈번하게 됨으로서 방수문은 그 기능을 존속시킴과 동시에 새로운 내배수처리 대책으로서 유수지와 pump장을 신설하여, 외수위가 높고 내수위의 상승으로 제내지의 침수우려가 있을 경우에는 방수문을 닫고 나서 pump에 의한 양수

로써 내배수처리 대책을 시행하게 된 것이다.

이와같이 유수지와 pump장을 설치하여 내배수를 처리하는 등의 하천 시설물을 만들고자 할 경우에는 다음의 절차를 밟도록 되어 있다.

- ① 기원의 수문량에 대한 조사분석
- ② 기본 계획 수립 (기본 계획서)
- ③ 실시 설계 (설계도서 작성)
- ④ 시 공
- ⑤ 유지 관리

특히 내수조사에 대해서는 지형 조사, 배수 계통 조사, 배수 시설 조사, 기원 자료 조사, 경제 조사 등의 사항을 고려하여야 하며, 통문, 통관, 수문, pump 등의 설비 기능과 강우, 내외 수위, 분류 유량, 수문 통과 유량, pump 배수량, 내수 피해 상황, 침수시의 상황 조사, 호적 조사 등에 중점을 두도록 한다.

## 2.1 내수 계획

내수는 홍수에 의해 분류 수위가 상승함과 동시에 제내지에 湛水가 일어나는 현상을 말하며, 내수처리 계획의 흐름도는 그림 1과 같다.

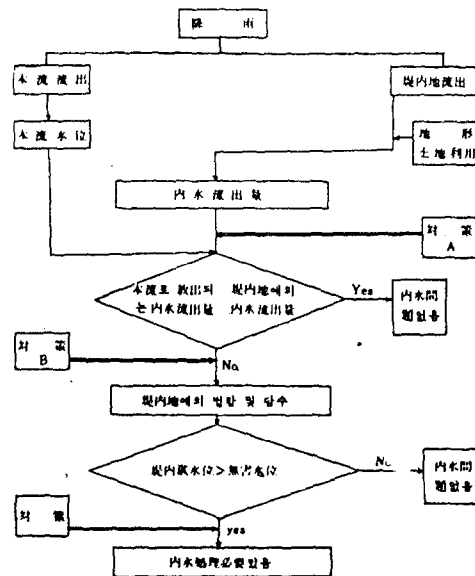


그림 1 내수처리 계획의 흐름도

## 2.2 내수처리 방식

내수처리 방식은 그림 2와 같이 4가지로 분류되며, 이들 각종의 처리방식 중에서 수리수문해석과 경제효과분석등을 실시하여 최적의 처리방식과 시설 규모를 결정하도록 한다.

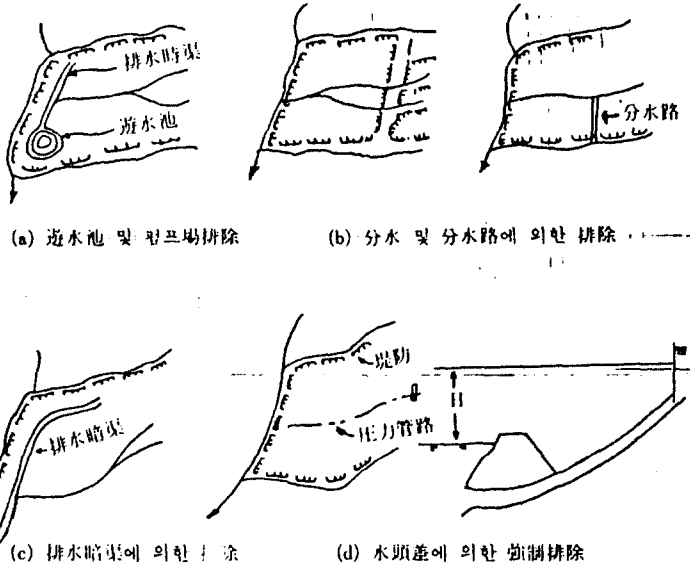


그림 2 내수처리 방식

## 3. 배수시설 기준

내수의 배수시설은 크게 6가지로 나눌 수가 있는데 즉, ① 배수제, ② pump 배수, ③ 수문 (통문, 통관을 포함), ④ 수문 + 자기유출량, ⑤ bypass 등의 수로 시설 ⑥ 우수지가 그것이다. (표 1)

이중 내수하천이 분류에 합류하는 부근은 본래 침수하기 쉬우며 토지이용도가 낮으므로 우수지를 고려하도록 하며, 우수지에 pump 배수를 조합할 경우 유출파형을 평활화함에 필요한 pump 규모를 작게해주는 효과가 있어, 우리나라의 경우 가장 널리 쓰이고 있다.

표 1 배수 방법 및 고려 요소

| 方式 \ 考慮要素 | 堤内의<br>土地利用度 | 堤内低平地 | 本流外의<br>關係 | 内本流域의<br>山地部 |
|-----------|--------------|-------|------------|--------------|
| 背木堤       | 中低           | 中小    | -          | -            |
| Pump      | 高            | 広     | 中下流域       | -            |
| 木門        | 高            | -     | -          | 小            |
| By pass 等 | -            | -     | 上中流域       | 大            |
| 木門+自己流量堤  | -            | -     | 中下流域       | 大            |
| 遊水池       | 低            | 広     | -          | -            |

본 절에서는 내수 배제 시설물인 pump 시설물보다는 대하천의 홍수에 빈발하는 외수침입을 막는 수문(水門)의 경우에 대해서만 그 시설 기준을 알아 보기로 한다.

### 3.1 수 문

수문은 물의 소통을 조절하기 위하여 하천이나 제방에 설치하는 구조물로서 통수 단면적이 큰 것을 수문, 작은 것을 통문, 통관이라 하며, 그 목적 및 형식에 따라 다음과 같이 분류된다.

#### 1) 목적에 의한 분류

- ① 배수문 ② 용수 취수문 ③ 역수문 ④ 역조 수문
- ⑤ 통선수문(갑문) ⑥ 유량 조절수문 ⑦ 유갑수문 ⑧ 기타수문

#### 2) 형식에 의한 분류

- ① 단경간 수문 ② 다 경간 수문

### 3.2 조사 사항

수문 시설을 위한 조사로서 수문 설치 지점의 측량, 지질 조사, 수문 및 수리좌를 해야 하며, 가급적 하도의 만곡부, 하도 단면이 협소한 곳 또는 하상이 불안정한 곳은 피하여 설치하도록 하고, 수문의 방향은 제방 법선에 직각으로 하는 것을 원칙으로 한다.

### 3.3 설계 계산

수문의 설치 위치, 수리 조건, 허용 응력, 수문의 규모 (문비수, 바닥높이, 통수부 마루높이, 통수폭등)가 결정되면 수문의 형식 및 구조를 결정하며, 이 결정에 있어서는 기술적으로 우수하고 내진성이 뛰어나야 하며 경제적으로도 유리하고 외관상으로는 간단하고 우미한 것이어야 한다.

수문의 설계는 수문의 각 요소를 우선 가정하고 각 가정단면에 의해 사산해서 결정하도록 하며, 수문의 각 요소에는 다음과 같이 축벽, 탑, 隔柱, 기초상판, 기초 말뚝, 우물통 기초, 기타 기초공, 止水工, 물 받침, 문비, 의벽, 수밀공, 조작기구등이 있다. 그 중 중요한 몇가지에 대해 기술하면 다음과 같다.

#### 1) 水門柱

수문주는 河水의 자연유하를 될수 있는대로 방해하지 않는 형상으로 하며, 널리 쓰이는 수문주의 평면 형상과 형상계수는 그림 3과 같다.

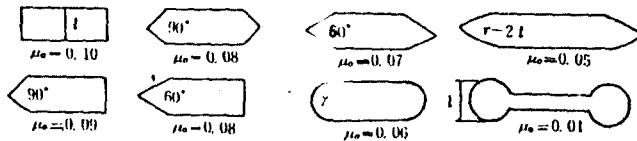


그림 3 수문주의 평면 형상과 형상계수

#### 2) 기초상판

수문의 기초상판은 우물통 위 또는 기초 말뚝위에 축조되며 상부 구조물의 부동 침하를 방지하는 역할을 하며, 종래에는 무근 콘크리트 구조가 많았으나 근래에는 강제보 또는 철근 콘크리트 구조를 많이 사용하며 두께는 경간의  $1/5 \sim 1/7$  이 보통이다.

#### 3) 止水工

수문 구조물의 기초 지반에는 그 상하류의 수위차 때문에 물이 흐르게 되는데, 이 유속이 토사를 유동시키지 않도록 조치하기 위해서 止水工을 설치한다.

누수의 침투 유속은 상류류 수위차와 침투경로의 길이의 비  $H/l$ 에 비례하는데, Bligh의 설명에 따르면  $l/H$ 의 한계는 표2와 같다.

표2.  $l/H$ 의 한계

| 区 分      | $C=l/H$ 의 限界 |
|----------|--------------|
| 衛 細 砂    | 18           |
| 細 砂      | 15           |
| 粗 砂      | 12           |
| 모래섞인 자갈  | 9 ~ 5        |
| 모래섞인 호박돌 | 4            |

이때  $H$ 는 일정하다고 볼 수 있으므로 (최대 수위차로 봄)  $l$ 의 값을 크게 취하면 되고, 일반적으로 본문의 전후 및 물받침의 선단에 널말뚝을 설치하고 본체의 중앙에 돌기물을 설치하게 되는데 이를 차수벽이라 한다.

#### 4) 門扉

문비는 개폐가 원활하고 수밀구조가 되도록 하고 문비 전후의 수위를 결정하여 그 수위차가 최대가 되는 경우에 대하여 검토해야 한다. 이때 고려할 하중은 차중, 수압, 부력, 개폐력, 지진시의 관성력 및 동수압, 선박, 파도등의 격동에 의한 충격력으로 하고 平水, 濁水, 洪水등 각 경우에 대해서 문비 전후의 수위를 결정하고 최대 수위차에 대해서 검토하도록 한다.

또한 문비본체 저부와 접하는 부분은 문비 본체에서 전달되는 연직 하중을 안전하게 지지하는 동시에 수밀구조가 되도록 강제 기타등으로 보호 한다.

### 3.4 유지 관리

수문의 파괴 원인은 누수, 지반의 부등침하, 지진, 구조 역학적인 결함, 유지 관리의 불량, 노후등으로 들 수 있다.

#### 4. 망원동 유수지의 수문상자 붕괴원인 검토

망원동 유수지의 집수면적은 5.316 km<sup>2</sup>이고, 유수지 면적은 54,000 m<sup>2</sup>이며, 유수지의 용량은 162,000 m<sup>3</sup>이다. 배수양거는 3연 BOX로 되어 있으며, 최초 건설후 몇차례에 걸쳐 확장되었으며, 그 경위를 살펴보면 표3과 같다.

표3. 배수양거 및 강제 배수로 확장 경위

| 施工順序 | 施工區分                      | 規模   |        | 工事期間                                  |
|------|---------------------------|------|--------|---------------------------------------|
|      |                           | 幅(m) | 延長(m)  |                                       |
| 1    | 最初排水暗渠(마세형)               | 8.2  | 33.1   | 未詳(해방전)                               |
| 2    | 排水暗渠延長(1次)<br>(堤內側, BOX形) | 8.2  | 30     | 1973(?)                               |
| 3    | 펌프강強制<br>吐出排水路            | 6.05 | 80     | 1974.5.23 ~<br>1974.9.2               |
| 4    | 排水暗渠延長(2次)<br>(堤外側, BOX형) | 8.2  | 116.35 | 1977.11.2 ~<br>1978.10.30<br>(城山橋工事時) |
|      | 펌프장吐出<br>排水路延長            | 6.1  | 50     |                                       |
| 5    | 堤內側暗渠 및<br>排水門移設          | 8.2  | 5      | 1979.6 ~<br>1979.9                    |
| 6    | 排水門改良                     | 8.2  | 13     | 1984.12 ~<br>1985.6                   |

표3의 시공순서 5의 연장 5m인 수문상자가 1984年 9月 2日. 10시 30분 한강 유역의 홍수로 인한 수압을 견디지 못하고 붕괴되어 망원동 일대가 침수되는 재해가 발생하였다.

따라서 본절에서는 앞에서 살펴본 하천시설물 기준에 따라 붕괴 원인

분석을 함으로서 차후 이와 같은 사고가 다시는 일어나지 않도록 경종이 되었으면 하고 생각해본다.

#### 4.1 강우량

1984년 8월 31일부터 9월 3일까지 중앙기상대 자기우량 기록지(서울지방)에 의거한 강우량 자료의 내역을 분석하여 요약한 바 표4와 같다.

표 4. 우량 및 발생시간

(우량: mm, 시간: (시분))

| 종류 \ 月 日      | 8月 31日             | 9月 1日              | 9月 2日              | 9月 3日 |
|---------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|
| 10분간 최대 우량    | 2.9 (20:20~20:30)  | 22.0 (05:58~06:08) | 3.7 (02:45~02:55)  | 0.0   |
| 1시간 최대 우량     | 12.0 (20:20~21:20) | 59.5 (05:34~06:34) | 11.5 (02:10~03:10) | 0.0   |
| 24시간 (일우량) 합계 | 30.2 (0:00~24:00)  | 268.2              | 36.0               | 0.0   |

- ① 시간우량강도는 59.5 mm/hr로서 설계 시우량 76 mm/hr 이하이다.
- ② 호우 지속시간은 1984년 9월 1일 05:00부터 동일 09:00까지이며 4시간에 153.5 mm가 강하하였다.
- ③ 9월 1일의 24시간 우량 268.2 mm는 망원동 유수지의 점수면적의 크기 (5.316 km<sup>2</sup>)로 보아 당일로 유수지까지 유입되어 pump로서 한강으로 배제가 가능했을 것이다.
- ④ 사고 발생 시각 (9월 2일 10時 30分)으로 보면 유수지내의 수위는 EL. 5.05 m로서 수문에는 불과 0.80m의 물이 차 있었다.

#### 4.2 수위 및 유량

한강의 수위 및 유량 관측은 각 수위표 자점에서 시행하고 있으며, 홍수 시에는 매 시간 별로 관측하게 되어 있다. 망원동 유수지 자점의 수위는 부근에 수위표 자점이 없어서 안도교 자점의 수위로 부터 홍수 경사를 고려하여



구할 수 있으나, 한강 하류부의 강조 구간이기 때문에 조석간만의 영향을 받게 됨을 고려하여 수위 환산을 하여야 한다.

표 5는 각 유량별로 부등류 계산을 하였을 때의 인도교 자점과 망원동 유수지와 이웃한 성산대교 자점의 수위(해발) 일람표이며 이 값을 도시한 것이 그림 4이다.

표 5. 성산대교 자점과 인도교 자점의 수위 비교

(수위: EL. m)

| 유량<br>cms<br>자점      | 125  | 200  | 5000        |              | 12000       |              | 25000       |              | 37000       |              | 비고                       |
|----------------------|------|------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|--------------------------|
|                      |      |      | low<br>tide | high<br>tide | low<br>tide | high<br>tide | low<br>tide | high<br>tide | low<br>tide | high<br>tide |                          |
| 성산대교                 | 1.98 | 2.36 | 5.71        | 6.56         | 8.43        | 9.13         | 11.60       | 11.95        | 13.79       | 13.87        | 두 자점<br>간의 거리:<br>7675 m |
| 인도교                  | 2.17 | 2.60 | 6.53        | 7.08         | 9.45        | 9.93         | 12.94       | 13.17        | 15.37       | 15.42        |                          |
| 두 자점간의<br>수위차 (m)    | 0.19 | 0.24 | 0.82        | 0.52         | 1.02        | 0.80         | 1.34        | 1.22         | 1.58        | 1.55         |                          |
| 구간내의<br>평균유속 (m/sec) |      |      |             |              |             |              | 1.923       | 1.867        |             |              | EL. 1.945m               |

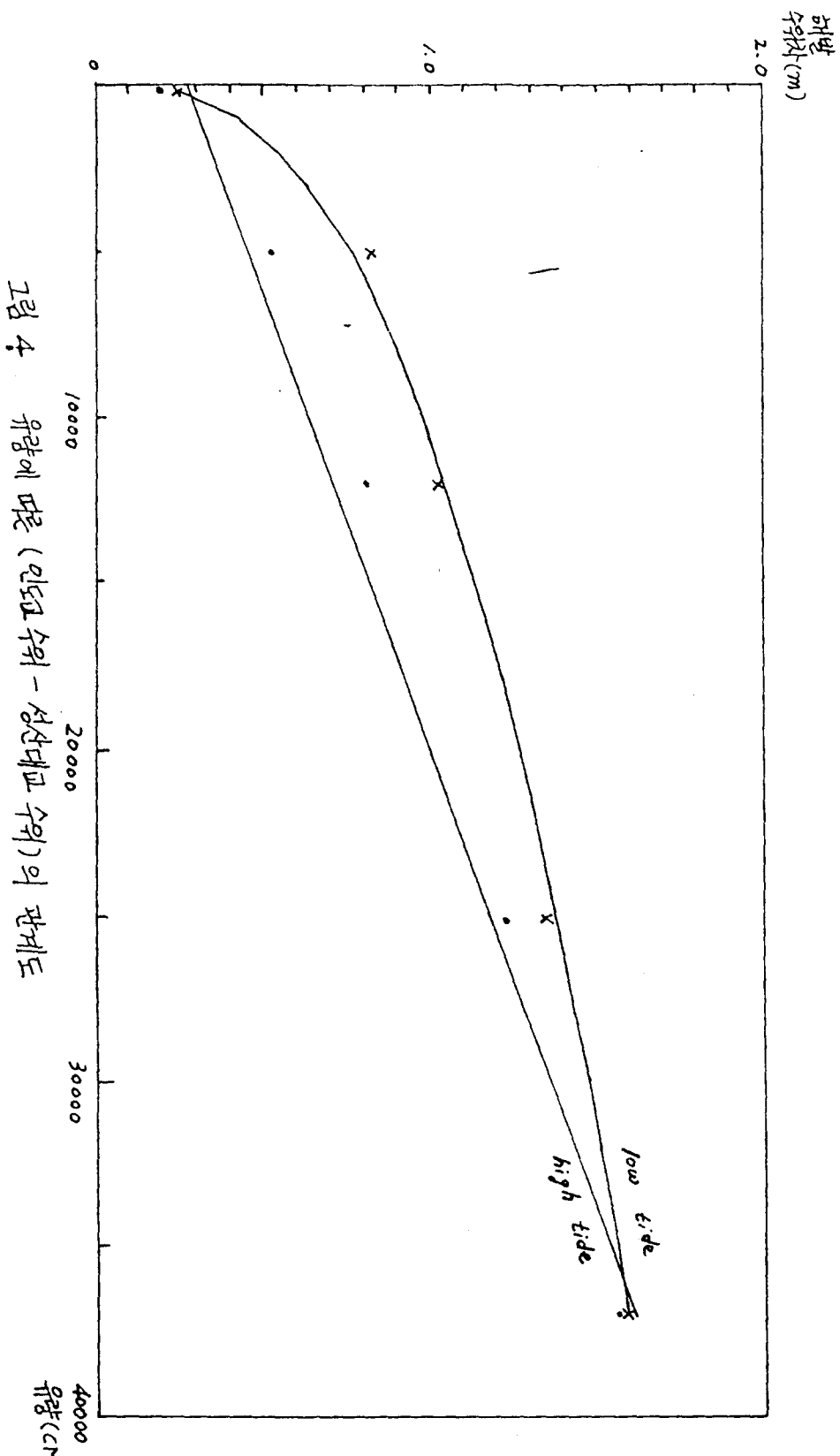


그림 4 유량에 따른 (인조 수위 - 성산대교 수위)의 관계도

이 그림4에서 보면 유량이 커질수록 수위차는 지속적으로 증가하며 high tide시 보다 low tide 때의 수위차가 더 크다. 이러한 관계를 해석에 편리하게 하기 위해 상관식을 구해보면 식 (1), (2)와 같다.

low tide시

$$\Delta H = 0.0337555499 Q^{0.365953286} \quad (r=0.9989) \quad - (1)$$

high tide시

$$\Delta H = 0.274437191 + 3.62228409 \times 10^{-5} Q \quad (r=0.9906) \quad - (2)$$

여기서  $\Delta H$ : (인도교 수위 - 성산대교 수위) (m)

$Q$ : 유량 (CMS)

$r$ : 상관계수

이상의 식을 사용하여 사고 발생시각을 전후한 1984年 9月 2日 09時 부터 9月 3日 이점 30分까지의 인도교 자점 수위 및 유량으로 부터 성산대교 자점의 수위를 산정한 바는 표 6과 같다.

표 6. 인도교와 성산대교 자점의 수위

| 시각        | 인도교             | 성산대교<br>EL. m | 시각       | 인도교             | 성산대교<br>EL. m | 비고                                 |
|-----------|-----------------|---------------|----------|-----------------|---------------|------------------------------------|
|           | 양수표<br>EL. m    |               |          | 양수표<br>EL. m    |               |                                    |
| 9/2 09:00 | 10.55<br>12.495 | 11.215        | 18:00    | 10.93<br>12.875 | 11.595        | 인도교<br>수위표<br>설정표고<br>; EL. 1.945m |
| 10:00     | 10.55<br>12.495 | 11.215        | 19:00    | 11.01<br>12.955 | 11.675        |                                    |
| 11:00     | 10.65<br>12.595 | 11.315        | 20:00    | 11.03<br>12.975 | 11.695        |                                    |
| 12:00     | 10.66<br>12.605 | 11.325        | 21:00    | 11.01<br>12.955 | 11.675        |                                    |
| 13:00     | 10.67<br>12.615 | 11.335        | 22:00    | 11.00<br>12.945 | 11.665        |                                    |
| 14:00     | 10.71<br>12.655 | 11.375        | 23:00    | 10.99<br>12.915 | 11.635        |                                    |
| 15:00     | 10.73<br>12.675 | 11.395        | 9/3 0:00 | 10.92<br>12.865 | 11.585        |                                    |
| 16:00     | 10.89<br>12.835 | 11.555        | 01:00    | 10.85<br>12.785 | 11.515        |                                    |
| 17:00     | 10.90<br>12.845 | 11.565        | 02:00    | 10.78<br>12.725 | 11.445        |                                    |

### 4.3 토질 역학적 분석

사고 현장의 수문상자 접속지점 주변에서 채취된 토질시료에 대하여 직접 전단 시험을 시행한 바, 얻어진 성과는 다음과 같다.

- ① 내부 마찰각  $\phi = 27^\circ$
- ② 흙과 콘크리트 면과의 내부 마찰각  $\delta = \frac{2}{3}\phi = 18^\circ$
- ③ 주동 토압 계수  $K_a = 0.376$
- ④ 수동 토압 계수  $K_p = 2.663$
- ⑤ 흙과 콘크리트 면과의 마찰계수  $\mu = 0.325$
- ⑥ 주동 토압 (한강측 → 유수지측)  $S_1 = 104.114 (t)$
- ⑦ 수동 토압 (유수지측 → 한강측)  $S_2 = 26.663 (t)$
- ⑧ 총 토압 (한강측 → 유수지측)  $H_s = 77.451 (t)$

### 4.4 수문 수리학적 분석

망원동 유수지내의 수위는 9월 1일의 호우 (05~09시)로 인한 우수유출량을 대부분 pump로서 배제하였으므로 EL. 5.05m로 0.8m의 수심에 불과하였고, 한강의 수위는 사고 발생시각은 1984년 9월 2일 09시 30분의 성산대교 지점 수위는 EL. 11.265m이며 이 때는 아직도 수위가 상승되는 시기이고, 성산대교 지점의 최고 수위는 EL. 11.695m이며 이것은 9월 2일 20시에 발생되고 그 후부터 하강되었다. 이상과 같은 수위 조건하에서, 또 기왕의 1, 2위 수위하에서 수리계산을 시행하여 얻어진 바는 표 7과 같다.

표 7. 수압의 계산

|                         | 한강수위        | 전수압     | 작용점            |
|-------------------------|-------------|---------|----------------|
| 사고 당시의 수위               | EL. 11.265m | 86.846m | 1.139m (수문 상하) |
| 84' 9월 홍수의 최고수위         | EL. 11.695  | 93.74   | 1.137          |
| 기왕의 최고수위 (1925. 7.18)   | EL. 12.615  | 107.339 | 1.131          |
| 기왕의 제2위 수위 (1972. 8.19) | EL. 11.825  | 95.347  | 1.135          |

#### 4.5 역학적 분석

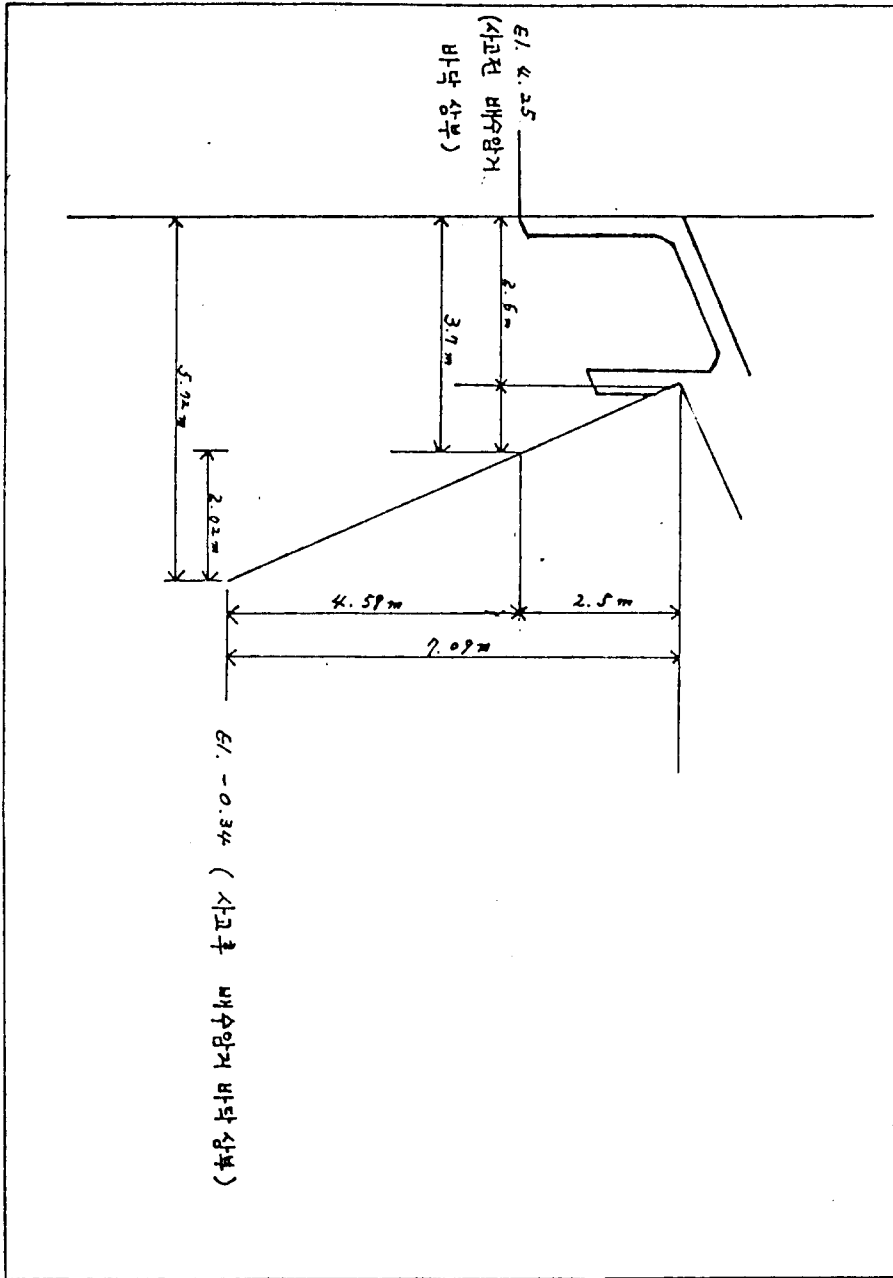
본 항에서는 수문상자, 문비 및 주변 시설물의 자중과 gate에 작용한 전수압, 토압 및 수평력에 의한 활동 안전 검토를, 그리고 사고 발생 결과로 본 구조물의 전도상태를 역학적으로 분석하였으며 그 요약한 바는 표 8과 같다.

표 8. 기왕의 수위 기록에 대한 구조물의 안전 검토 내역서

| 기왕의 홍수 |                     | 수직 하중 (ton) |        |        |         | 수평 하중 (ton) |         |         | 마찰력 (ton) | 안전율   | 비고            |
|--------|---------------------|-------------|--------|--------|---------|-------------|---------|---------|-----------|-------|---------------|
| 순위     | 일시                  | 구조물의 자중     | 부력     | 양압력    | 순수역하중   | 토압          | 전수압     | 순수평하중   |           |       |               |
| 1      | 1925.7.18           | 624.055     | 69.917 | 91.719 | 462.423 | 77.451      | 107.339 | 184.790 | 150.287   | 0.813 | 미량계수<br>0.325 |
| 2      | 1972.8.19           | 624.055     | 69.917 | 85.841 | 468.297 | 77.451      | 95.347  | 172.798 | 152.197   | 0.881 |               |
| 3      | 1984.9.2<br>20시     | 624.055     | 69.917 | 84.834 | 469.254 | 77.451      | 93.374  | 170.825 | 152.508   | 0.893 |               |
| 4      | 1984.9.2<br>10시 30분 | 624.055     | 69.917 | 81.702 | 472.436 | 77.451      | 88.846  | 164.297 | 153.342   | 0.935 |               |

한편 사고 발생 결과로 본 그 당시의 구조물 (수문상자)의 전도상태를 해석하기 위하여 중 모멘트를 선정하 바 반사계 방향으로 623.572 (ton.m) 로 얻어졌으며 활동 안전율은 0.935로서 불안정하며 저반 세력으로 인하여 원래의 위치로부터 밑으로 4.57m 강하되고 23.75° 만큼 재외측으로 기울어 졌으며 유수지 쪽으로 5.72m 만큼 밀려나게 되었다. (그림 5)

그림 5 파산 상태하의 배수암거 임구부와 배수면 구조를



## 5. 종합 고찰

4절에서의 피해 원인 분석 결과를 종합하여 고찰하면 다음과 같이 요약된다.

첫째, 수문상자는 계획 설계면에서 구조물로서의 안전 검토가 미흡하였을 뿐만 아니라 수리적인 면에서의 기초지반에 대한 채수공 설계가 전혀 도시되어 있지 않았다.

둘째, 제2단계로 건설된 자연 배수암거 (가설)와의 접속부가 수밀 공법으로 설계되지 못하고 단순한 접속으로 이루어 졌음은 누수발생의 원인이 되었음은 물론 특히 홍수의 수압을 포함한 전 수평력에 대한 미찰저항력을 감소하게 되어 활동 안전율을 저하시키게 된 주요인이 되었다고 생각한다.

셋째, 종래의 수문 설치 위치에 있었다면 방수문의 기능은 충분히 발휘되었을 수도 있었다고 생각되며 수문 이설 계획 수립과정에서 충분한 안전도 검토가 선행되었어야 하였을 것이다.

## 6. 결론

하천 시설물을 계획하고 건설하고자 할 경우에는 사전에 충분한 안전도 검토가 이루어져야 하겠음을 다시 한번 절감하게 되는 바이다.

본 연구를 통하여 얻어진 성과로 다음과 같다.

1. 우수지의 배수시설 계획은 하천 시설물 설계기준을 충분히 이해하고 수립하여야 한다.
2. 내배수 처리만에 집착할 것이 아니라 외수의 침범 방지를 위한 방수문 역할을 충분히 고려하여야 한다.
3. 계획 및 실시 설계 기술자로서의 책임한계 (여건대, 계획 규모 설정에서의 확률년 설정 등)를 명시하여 둬야 바람직하다.
4. 망원동 우수지의 수문상자 붕괴 원인은 계획 및 실시 설계가 불충실 하였음을 지적할 수 있겠다.