

해황과 어황에 미치는 댐 방수의 영향

張 善 德

부산수산대학 해양학연구실

INFLUENCE OF DAM WATER DISCHARGE ON THE OCEANOGRAPHY AND FISHERY

Sun-duck Chang

Lab. of Oceanography, Pusan Fisheries College

ABSTRACT

After the heavy precipitation from April 1969 to September 1970, more than $1,359 \times 10^6 \text{m}^3$ of fresh water was discharged through diversion channel of the Namgang Dam.

The sands and muds in the northern Sachon Bay were moved and swept away by the strong southward flow which was observed to be speedier than five knots. The shellfish culture facility as well as the oysters and bivalves were buried. In Sachon Bay, a southward surface ebb current of approximately one knot stratifies above the northward flow of approximately 0.5 knot, which seems to be similar to the salt wedge estuary. The stratified current is responsible for the breaking of the gill nets and other fishing gears.

The salinity of sea water in Chinju Bay decreased remarkably and the abnormal low salinity water lower than 5‰ was distributed in Sachon Bay. The low salinity water front was observed in eastern Chinju Bay and the Samchonpo Channel, where the salinity was increased from 4.6‰ to approximately 30‰ within half a tidal cycle. These caused the oysters and bivalves die, and drove anchovies and octopus out to the sea and prevented them from approaching the bay.

The decrease of salinity causes the decrease of density and osmotic pressure of sea water. Turbid water would prevent the sunlight from penetrate into deep layer.

머 리 말

연안 해역에 유입하는 하천의 유역변경이나 댐 건설에 의한 유량의 조절, 변경은 자연의 물 순환계의 평형을 깨트리는 원인으로서 해양 환경을 변동시키는 요인이다.

경상남도 진주시 남서방에는 1969년 10월에 남강 다목적 댐이 건설되었고, 댐 부근 남쪽에

길이 약 11km 되는 방수로가 설치되었다(Fig. 1). 이 방수로는 $35^{\circ}04' \sim 35^{\circ}09' \text{ N Lat}$, $128^{\circ}00' \sim 128^{\circ}04' \text{ E Long}$ 사이에 위치하며, 진양군과 사천군을 경유하여 진주만 북동부인 사천만에 이 어지고, 유역 면적은 약 29.25km^2 이다. 원래 가화천(加花川) 하구였던 방수로의 남단은 사천군 추동면 가산리 지선 사천만 북단에 연결된

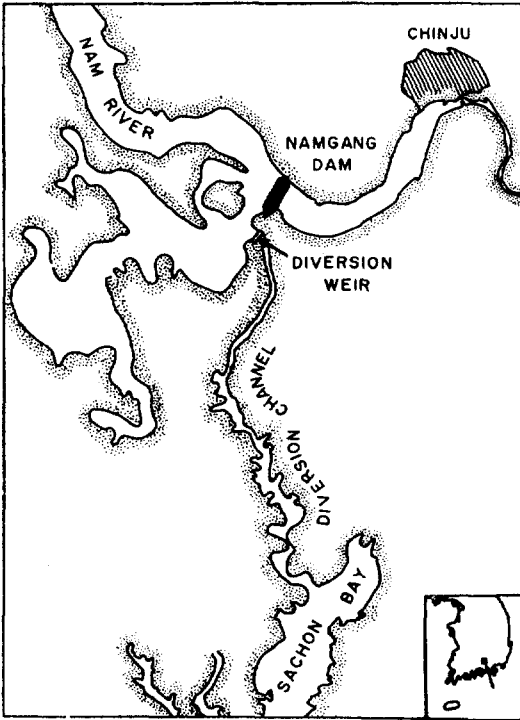


Fig. 1. Location of the Namgang Dam and diversion channel.

다. 홍수로 인하여 댐의 수위가 높아지면 이를 조절하기 위하여, 이 방수로를 통하여 많은 양의 담수를 진주만 북부인 사천만으로 유출시킨다. 이 하구 부근은 니토질(泥土質) 간석지로서 퇴적토층을 이루고, 만조시에는 평균 수심 2m 미만의 감조하구이다.

Table 1. Freshwater discharge from the Sachon Diversion Channel of the Namgang Dam, 1969-1970.

Date	Speed (m ³ /sec)	Quantity (m ³)
April 25—April 29, 1969	53— 552	54,489,200
May 5—May 7, 1969	60— 249	17,713,800
July 5—July 6, 1969	30— 66	4,449,600
July 8—July 12, 1969	35— 675	64,276,200
July 13—July 24, 1969	2— 740	126,109,000
July 31—Aug. 11, 1969	25—1,905	405,004,800
Sept. 15—Sept. 19, 1969	3—1,480	181,317,600
July 5 1970	450—3,770	99,871,200
July 14—July 22, 1970	92—1,524	306,202,320
Aug. 31—Sept. 4, 1970	130—1,129	99,658,800
Total		1,359,092,520

진주만의 해저 지형과 (Chang, 1969a) 해수의 유동 및 일반 해황에 관하여는 이미 보고한 바 있으므로 (Chang, 1969b, 1970a, 1970b, 1971), 본 고에서는 방수를 전후한 해양 관측 자료를 해석하여, 댐 방수가 연안 해황과 어황에 미치는 영향에 관하여 고찰해보기로 한다.

방 법

1969년 1월부터 1970년 12월까지 부산수산대학 홍양호를 비롯하여 송해호, 협동호, 해양호 등 소형 선박을 사용하여 진주만과 그 부근 해역에서 해양 관측을 실시하였다. 관측 및 분석 방법, 그리고 기본 관측점의 위치는 전보와 같다 (Chang, 1971).

결 과

1. 방수 상황

매시의 방수 속도에 관한 자료를 건설부와 경남도지사의 협조로 입수하여 방수량을 계산한 결과는 Table 1과 같다. 이 표에 의하면 1969년에 7회, 1970년에 3회 도합 10회에 걸쳐 $1,359 \times 10^6 \text{m}^3$ 남짓한 양의 담수를 방수한 셈이다. 대체로 많은 강우가 있는 경우에 방수량이 많은 경향이 있었음은 당연하다고 보아진다. 방수 속도는 최고 약 $3,770 \text{m}^3/\text{sec}$ 에 이르렀으며 (1970년 7월 5일), 1회 누적 방수량은 최고 $450 \times 10^6 \text{m}^3$

이상에 달하였다(1969년 7월 31일~8월 11일). 당초 계획된 방수량은 홍수량에 따라 16시간에 $61,129 \times 10^3 \text{m}^3$ 및 29시간에 $140,400 \times 10^3 \text{m}^3$ 로 되어 있다.

2. 해수 유동

측류 결과와 평상시의 해수 유동에 관하여는 이미 보고한 바 있다(Chang, 1970b). 방수로 하류부에 인접한 사천만 북단 부근에서는 방수 기간중 유속이 대단히 빠르다. 즉 1970년 7월 17일 15시경 사천만 북부 해역인 관측점 9에서는 남동풍이(풍력 3) 불고 밀물때 평상시 북류임에도 불구하고, 표층에서는 약 2.5kt의 남류가 있었다. 이때의 방수는 $1,032 \text{m}^3/\text{sec}$ 였다. 이날 16시경 사천군 곤양면 중항리 앞 관측점 10 부근에서는 유속이 5kt 이상에 달하였다. 이처럼 빠른 수류는 해저의 토사를 이동시켜 간석지와 해저지형을 변동시켰다.

진주만 북동부와 사천만에는 층접침이 뚜렷한 하구현상이 나타났으며(Pritchard, 1967) 2중조

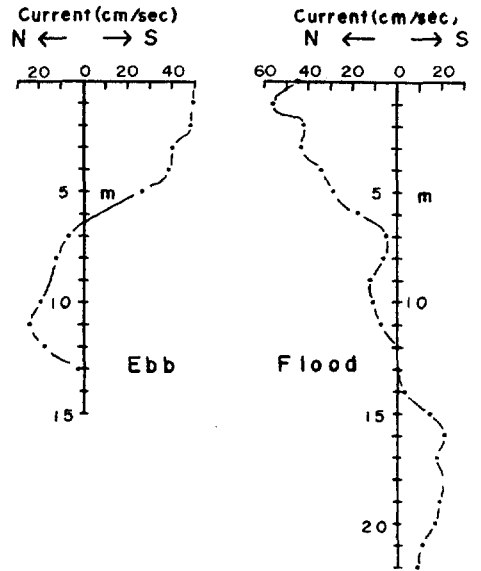


Fig. 2. Current velocity profile at St. 5 in Chinju Bay on July 17 (ebb) and July 19(flood), 1970 (After Chang, 1971).

가 일어났다(Chang, 1970b). 진주만 북동부인 사천만구의 관측점 5에서는 썰물때 6m 미만의 표

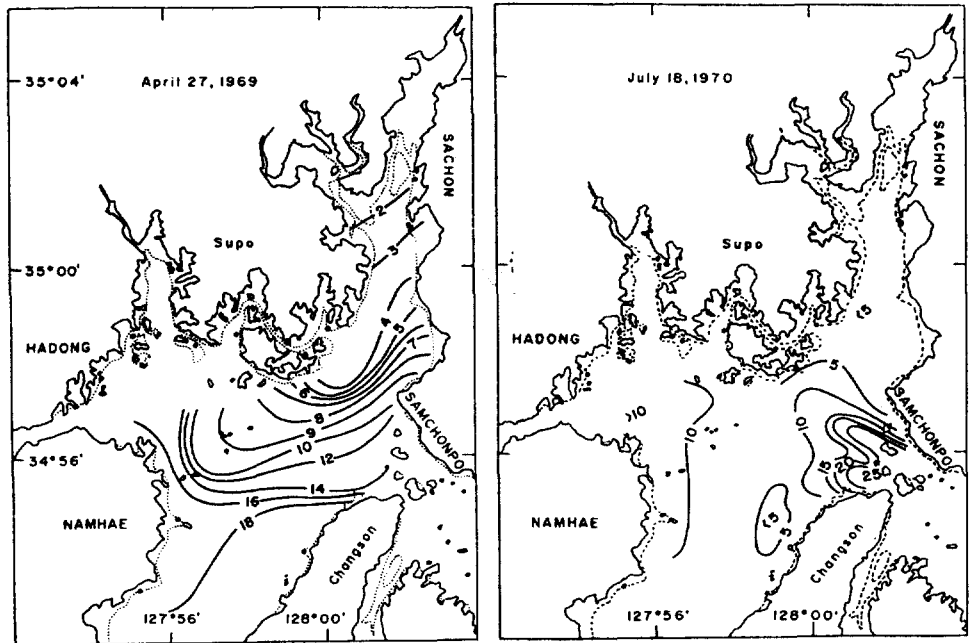


Fig. 3. Distribution of surface salinity in Chinju Bay after the discharge of freshwater from Namgang Dam.

층은 저염분수가 남류하지만 7m 이상의 하층은 고염분수의 복류를 보인다(Fig. 2). 윗물의 유속은 표층이 가장 빨라 약 1kt 전후이고 아랫물은 11m 층에서 0.6kt로서 복류의 최고값을 보였다.

댐으로부터 유출된 저염분수의 선단은 진주만 북동부와 삼천포수도에서 뚜렷한 조경을 형성하는 바, 이 곳에는 파고 1m 전후의 잔물결이 줄지워 일어났으며 서서히 이동하였다. 이 물결의 소리가 다소 먼곳까지 들렸으며 물거품과 해초, 목편 등이 조경 부근에 밀집해 있음을 관찰할 수 있었다.

3. 염 분

진주만 중앙부의 염분은 1월이 최고로서 34% 이상이고 7월에 가장 낮아 약 32.04%이다. 진주만 북동부인 사천만의 하구 부근에서도 1, 2월에는 29% 이상이다(Chang, 1971). 그러나 방수 후에는 진주만 북동부인 삼분갑-비토도 부근에서 5% 전후로 현저히 낮아지며 사천만 북부에서는 2% 전후로 떨어진다(Fig. 3).

진주만 동부에서는 방수에 의한 저염분수와 만의 한국 남해 연안수가 접촉하여 예리한 조경이 형성된다. 수평 방향의 염분 경도는 최고 1970년 7월 18일 약 20‰/km 였다.

진주만 북동부와 사천만에는 방수 기간 중에 형성되는 2중조의 유향 역전층인 수심 6~7m 부근에 매우 예리한 염분 약층이 형성되었으며 윗물은 댐에 의한 저염분수이지만(0.44~0.86%) 아랫물은 남해 연안수로서 염분이 높다(약32.5%).

진주만 동부 늪도 부근에 있는 축방렴 어장(관측점 61a)에서의 매시 0.5m 층 염분은 댐 방수에 의한 담수유입으로 현저히 낮아지고, 조류에 의한 만의 해수의 유입으로 매우 규칙적인 진동을 한다(Fig. 4). 1970년 7월 5일에는 3770m³/sec로 방수하여 하로 동안에 약 100×10⁶m³의 담수가 만내에 유입하였고, 14일에도 1,000m³/sec 이상의 방수가 있었으며 15일 정오에는 약 200m³/sec로 줄었다. 이로 인하여 15일 낮에는 염분이 6.53‰ 까지 내려갔으며, 방수량이 큰 변동이 없

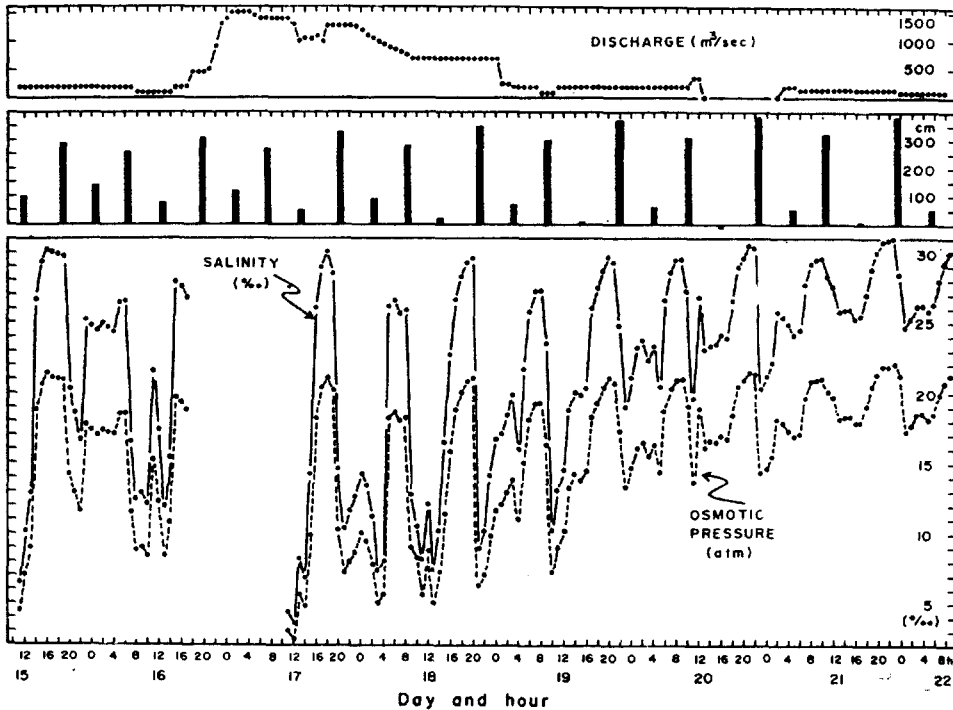


Fig. 4. Hourly change of salinity (solid line) and osmotic pressure (dashed line) in relation to the tide and the freshwater discharge from the diversion channel of the Namgang Dam.

으니까 차츰 회복되는 경향이 보였다. 그러나 16일 오후부터 방수량이 증가하여 17일 새벽 2시부터는 약 1,500m³/sec에 이르렀다. 16일 오후부터 10여 시간의 채수 자료는 없으나 17일 경우에는 3.55%로 최저의 값이 기록된 것으로 미루어 보아 그 이하로 떨어졌을 것이 명백하다. 그 후 약 700m³/sec 이상의 방수 속도를 유지해 오다가 19일 1시부터 갑자기 229m³/sec 이하로 낮추자 그 다음 조석 주기부터 염분이 차츰 회복의 증후를 보이기 시작하여 약 19% 이상을 유지하였고, 20일 오후에 방수를 중지하니 그 다음 조석 주기부터 또 한층 더 회복되기 시작하여 약 23% 이상을 유지하였다. 이처럼 회복의 징후는 대체로 그 다음 조석주기부터 나타나지만 회복의 템포는 느리편이며 완전 회복까지는 조석 혹은 유동에 따라 다르겠지만 많은 시일이 소요되는 것으로 보인다.

4. 삼투압

해수의 0°C에서의 삼투압 $0P_0$ 는 Stenius(1904)와 Thompson(1932)에 의하면

$$0P_0 = -12.08 \Delta t_g \text{ [atm]} \quad (1)$$

$t^\circ\text{C}$ 인 경우에는

$$0Pt = 0P_0(1 + \alpha t) \text{ [atm]} \quad (2)$$

여기서 Δt_g 는 해수의 빙점 강하도로서 $\Delta t_g = t_g - t_{g_0}$ 이며 $\alpha = 1/273$ 이다. 해수의 빙점 t_g 는 Lyman and Fleming (1940)에 의하면

$$t_g = -0.05241 \cdot Z \\ = -0.05241 \cdot \left(\frac{\Sigma}{1 - \Sigma \cdot 10^{-3}} \right) \quad (3)$$

여기서 Z 는 1kg의 해수중에 용존하는 염류 총량이고

$$\Sigma = 1.811 \cdot Cl + 0.073 \quad (4)$$

이다.

이들 식에 의하여 계산한 결과는 Fig. 4에 도시한 바와 같다. 이 그림에 의하면 방수후 관측점 61a에서의 삼투압의 변동 경향은 염분의 경우와 유사하고 조석에 따라 주기적으로 승강하는 경향이 뚜렷하다. 이곳에서의 삼투압은 방수로 인하여 최하 약 2.5atm으로 떨어졌으며, 조류에 의한 만 외수의 유입으로 반 조석 주기 동안에 약 21atm으로 급 상승하였다. 수평 및 연직 방향의 삼투압 분포 경향도 염분의 경우와 유사한 경향을 나타낼것으로 생각된다.

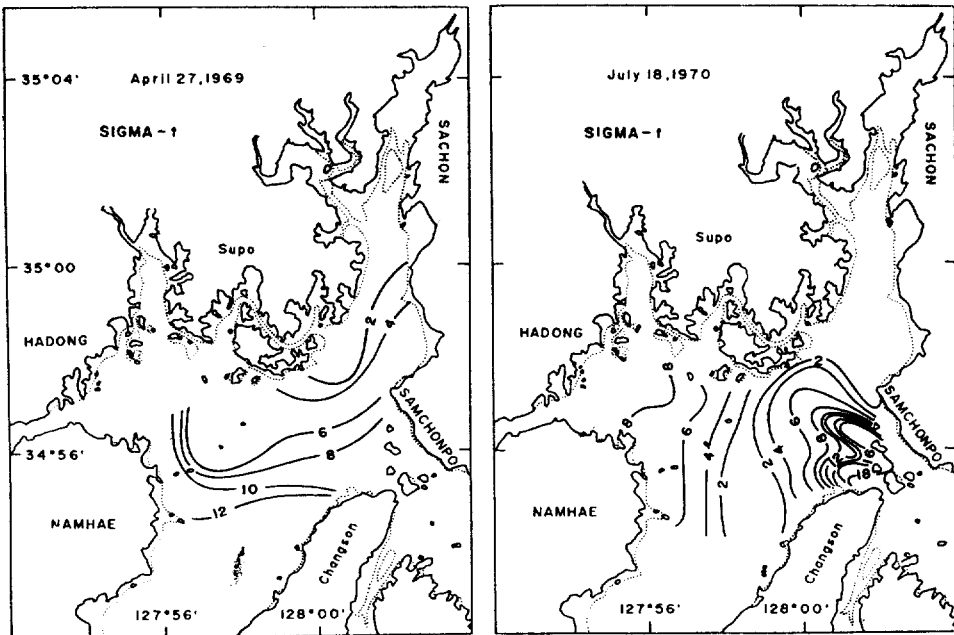


Fig. 5. Distribution of surface density in Chinju Bay after the discharge of freshwater from Namgang Dam.

5. 밀 도

밀도의 변동 역시 염분의 변동과 그 경향이 유사함은 당연한 것이다. 염분값이 최저로 기록된 1970년 7월 17일 12시에는 σ_t 가 약 1.90이었으나 불과 반 조석주기후에는 21.83으로 변화하였다.

삼분갑—비토도 사이에서 관측된 2중조의 밀도 약층 위에서는 댐으로부터 유출된 저밀도 해수로서 σ_t 는 0.50 미만이었으나 약층의 아래에는 σ_t 24.07 이상의 고밀도수가 북류함은 전술한 바와 같다. 밀도의 수평분포 역시 염분 분포와 유사한 경향을 보인다(Fig. 5).

6. 어 업

방수로 하류부에 인접한 사천만 북부에는 패류(굴, 바지락, 백합 등)와 양식 시설(돌, 송지, 조위시설, 종패 등)이 매몰, 유실되고 상당수는 폐사하였다.

진주만내 죽방렴 어구의 발장이 도피되고 소대망과 자망 등은 파손 유실되었으며 무동력 어선은 조업은 물론 항해도 불가능하였다.

방수 기간과 방수후 상당기간 만내의 정치망어업(죽방렴, 소대망, 낭장망 등)의 주 대상어였던 멸치 어획은 격감되었으며 가을멸치의 어획도 현저히 줄었다.

문어 낙지 등 연체 동물은 거의 전멸 상태에 가까우며 상당한 시간이 경과하여도 회복의 징후가 거의 보이지 않는다.

해조류도 감소 경향이 엿보이고 선택의 변화로 상품 가치가 저하된 것이 있다.

고 찰

방수로로 변환 가화천은 평균 기울기(勾配)가 약 1/700인 급류 하천에 속함으로 방수로 하류부에 인접한 사천만 북단부근에서는 유속이 대단히 빠르다. 이와 같이 빠른 수류에 의한 해저토사의 이동으로 패류 양식 시설(위망, 돌, 송지 등)이 매몰, 유실된 것이라 생각된다. 백합의 경우에는 조위 시설이 파괴되니까 성패가 상당 거리를 이동할 수도 있을 것이다. 투석식 양식장

에는 진흙으로 뒤덮인 많은 굴이 폐사하였음을 관찰할 수 있었다. 발장 등 어업 시설물의 도피와 어망의 파손 등은 강한 유속과 2중조에 의한 장력에 기인된 것이라 보아진다.

댐 방수로 인하여 유입된 물덩이의 특징은 염분, 밀도 삼투압이 현저히 낮고, 투명도가 낮은(0.5m 미만) 혼탁한 해수로서 사니가 현탁되어 빛의 소산이 커서 광선의 투입이 어려운 점이다. 이와 같은 해수의 염분, 밀도 및 삼투압의 현저한 저하와 급변은 해중에서 서식하는 생물의 생리 기능에 장애를 초래하거나 폐사 시키는 원인이 될 수 있을 것이다.

유입된 물덩이의 변동리에 형성되는 조경은 곳에 따라 상당히 빠른 속도로 이동하는 바, 어족(멸치, 전어 등)과 연체동물(낙지, 문어 등)을 만외로 추방하고, 내유 어군의 접근을 방해할 것이라 생각된다. 남해안 멸치의 산란 적염분 범위는 32.01~34.25% 인바(Park and Lim, 1965) 봄멸치 산란기인 1969년 4월의 방수는 남해안으로 산란회유하는 멸치군의 접근을 방해했을 것이고, 저밀도 해역에 들어온 부유성 어란은 침강하여 부화 발생이 저지당해 어장 형성이 어려워졌으리라 추리된다. 따라서 만내에서 발생 성장할 자원이 적어짐으로써, 하·추계 멸치 가입군이 적어진 점이 만내 정치어업 어획고를 격감시킨 원인의 하나라 생각된다. 1969년 4월 방수시 문어와 낙지가 창선수도의 죽방렴에 이례적으로 대풍어가 있는후에는 전혀 어획되지 않으며, 만내 거의 전역에서 문어단지나 낚시에도 거의 어획되지 않는 현상은 위 사실을 뒷받침하는 좋은 예이다. 문어 *Octopus vulgaris*는 σ_t 23.5~25.0의 범위가 적합한 바(Tamura, 1957), 염분으로 환산하면 15°C에서 31.76~33.71%이 적당한 범위인 것이다. 또 Davis and Ansell(1962)에 의하면 굴 치패는 10% 해수에서 4일 이내에 전부 폐사하고 12.5%에서는 성장하지못하며 10일 이내에 90% 이상이 폐사한다. 인천만에서 12.6% 해수 중에는 바지락 치패를 전혀 볼 수 없었다는 보고가 있다(Choi, 1965). 1969년 4월과 1970년 7월의 방수직후에는 진주만의 염분은 짧은 시간내에 현저히 하강하였으며, 특히 삼

분감—비토도 이북의 사천만은 밀물때에도 5% 이하의 이상 저염분수가 분포하였다. 이와 같은 이상 저염분수는 동해역의 굴, 바지락 등 패류를 폐사시켰을 뿐만 아니라, 멸치와 문어, 낙지, 오징어 등 수족을 만외로 추방하는 원인이 되었을 것이라 추리된다.

요 약

1969년 10월에 완성된 남강 다목적 댐과 방수로가 준공되어 1969년에 7회, 1970년에 3회 합계 10회에 걸쳐 $1,359 \times 10^6 \text{m}^3$ 이상의 담수를 진주만으로 방수하였다. 방수 속도는 최고 약 $3,770 \text{m}^3/\text{sec}$ 에 이르렀으며 1회 누적 방수량은 최고 $4.50 \times 10^6 \text{m}^3$ 이상에 달하였다.

이 결과 방수로 하류부와 연결되는 사천만 북부에서는 5kt 이상의 빠른 유속이 해저의 토사를 이동시켜 간석지와 해저의 지형을 변동시켰다. 양식장 시설물과 패류를 매몰, 유실 시키는 원인이 되었다. 하구 현상이 일어 났으며 2중조가 관측되었다. 어구의 파손, 발장의 도괴 및 어선의 조업 불능 등으로 피해가 막심하였다.

방수후 진주만의 염분은 급격히 하강하였으며 특히 사천만에서는 밀물때에도 5% 이하의 이상 저염분수가 분포하였다. 현저한 조경이 이루어 졌으며 반조석 주기에 4.6%에서 30%로 약 25% 이상의 염분 급변이 있었다. 이와같은 염분의 저하와 급변은 동해역의 굴, 바지락 등 패류를 폐사시키고 멸치, 문어 등을 만외로 추방하는 원인이 되었으며, 내유 어군의 접근을 방해하였다. 염분의 저하는 해수의 밀도와 삼투압 환경을 급변 시키는 원인이 되었고, 투명도가 낮은 혼탁한 물덩이는 광선의 투입을 방해하여 광합성 작용을 억제할 것이다.

문 헌

Chang, S. 1969 a. The submarine topography of

Chinju Bay. Bull. Pusan Fish. Coll., 9, 89-94.

_____. 1969 b. The circulation in Chinju Bay. 1. Observations of tidal currents by drifting currents by drifting current drogues. *ibid.*, 9, 95-103.

_____. 1970 a. Ditto. 2. Results of drift bottle experiments. Bull. Korean Fish. Soc., 3, 137-147.

_____. 1970 b. Ditto. 3. Tidal current measurement by current meters. Bull. Pusan Fish. Coll., 10, 1-15.

_____. 1971. Oceanographic studies in Chinju Bay. Bull. Pusan Fish. Coll., 11, 1-43.

Choi, K. 1965. Ecological studies on early stage of bivalve, *Tapes philippinarum*. Coll. Ed. Rev., 7, 161-234.

Davis, H. C. and A. D. Ansell 1962. Survival and growth of larvae of European oyster, *Ostrea edulis*, at lowered salinities. Biol. Bull., 122, 33-39.

Lyman, J. and R. H. Fleming. 1940. Composition of sea water. J. Mar. Res., 3, 134-146.

Park, B. and J. Lim 1965. Fishery biology of anchovy (*Engraulis japonica* Houttuyn) in the waters around Korea. 1. On the ecology of anchovy in the southern waters of Korea. Rept. Fish. Resources, 6, 37-49.

Pritchard, D. W. 1967. Observations of circulation in coastal plain estuaries. *Estuaries*, 37-44. Amer. Assoc. for Adv. Sci. Washington, D. C. 757 pp.

Stenius, S. 1904. Öfversigt at finska vetenskapsocietens förhandlingar, 46(6).

Tamura, T. 1957. *Aquiculture*. Kigensha, Tokyo, 477 pp. (in Japanese)

Thompson, T. G. 1932. The physical properties of sea water. Physics of the earth. 5. Oceanography, 63-94. Bull. Nat. Res. Council, 85.