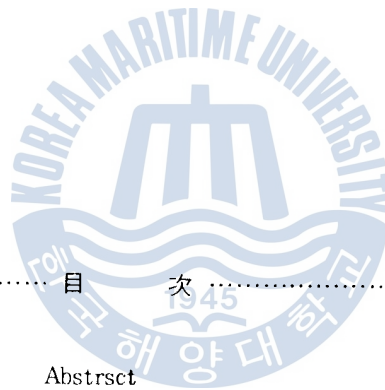


洛東江 河口에서의 河川水의 混合 및 循環特性

金 昌 濟

The Characteristics of the Mixing and Circulation
Process at the Mouth of the Nakdong river

Chang-jea Kim



目 次

Abstrsct

그림 목록

1. 서 론
2. 염분 특성
3. 유속 특성
4. 혼합 특성
5. 홍수기의 특성
6. 결 론

참고문헌

Abstract

This paper is a result of a series of observations on the Nakdong estuary carried out by the author in 1984.

As the results of the observations this year, the additional items of characteristic features on the mixing and circulation process in the estuary were found as follows:

At the flood stage, the salt wedge ranges from the mouth of the river to the junction of two tributaries near the Nakdong Bridge. The mixing and diffusion occur mainly at the downstream of this junction. The salt is transported upstream by advection and the stratification is reinforced. Thus, the vertical mixing is carried out mainly by the diffusion.

At the ebb stage, the entrainment is vigorous due to the shear flow, the stratification is weakened, and the water becomes well-mixed and flows out to the sea.

그림 목 록

그림 1.	연구수역	24
그림 2.	P 에서의 염분 연직 분포 (1984. 3. 30)	25
그림 3.	N 에서의 염분 연직 분포 (1984. 3. 31)	26
그림 4.	A 에서의 염분 연직 분포 (1984. 3. 31)	27
그림 5.	A'에서의 염분 연직 분포 (1984. 3. 30)	28
그림 6.	C 에서의 염분 연직 분포 (1984. 3. 29)	29
그림 7.	Drogue 추적시의 염분 시간 변화 (1984. 10. 25)	30
그림 8.	P 에서의 염분 연직 분포 (1984. 3. 30)	31
그림 9.	N 에서의 염분 연직 분포 (1984. 3. 31)	32
그림 10.	A 에서의 염분 연직 분포 (1984. 3. 31)	33
그림 11.	A'에서의 염분 연직 분포 (1984. 3. 30)	34
그림 12.	C 에서의 염분 연직 분포 (1984. 3. 29)	35
그림 13.	밀물에서 썰물로의 전류시의 염분 분포 (1984. 3)	36
그림 14.	썰물에서 밀물로의 전류시의 염분 분포 (1984. 3)	37
그림 15.	Drogue 추적시의 표면 염분 기울기 (1984. 10. 25)	38
그림 16.	P에서의 유속 연직 분포 (1984. 3. 30)	39

그림 17. N 에서의 유속 연직 분포 (1984. 3. 31)	40
그림 18. A 에서의 유속 연직 분포 (1984. 3. 31)	41
그림 19. A' 에서의 유속 연직 분포 (1984. 3. 30)	42
그림 20. C 에서의 유속 연직 분포 (1984. 3. 29)	43
그림 21. P 에서의 유속 시간 변화 (1984. 3. 30)	44
그림 22. N 에서의 유속 시간 변화 (1984. 3. 31)	45
그림 23. A 에서의 유속 시간 변화 (1984. 3. 31)	46
그림 24. A' 에서의 유속 시간 변화 (1984. 3. 30)	47
그림 25. C 에서의 유속 시간 변화 (1984. 3. 29)	48
그림 26. Estuary 분류도	49
그림 27. A에서의 홍수기의 유속 시간 변화 (1984. 8. 27)	50
그림 28. C에서의 홍수기의 유속 시간 변화 (1984. 8. 27)	51
그림 29. D에서의 홍수기의 유속 시간 변화 (1984. 8. 28)	52

1. 서론

수년간 계속되어 온 본 대학 연구팀의 낙동강 하구에 대한 해양학적 연구의 일환으로 저자는 3차에 걸쳐 여러 가지 관측을 실시하였다.

제 1차 관측은 1984년 3월 29일~4월 1일(갈수기이며 동쪽 지류가 하구둑공사의 진척으로 막힌 5월 이전)에 그림 1의 P, N, A, A' 및 C의 각 관측점들에서, 제 2차 관측은 1984년 8월 27일과 28일(집중호우 1일후)에 그림 1의 A, C 및 D의 각 관측점들에서 각각 13시간에 걸쳐, 매 시간마다 각 수심별(1m 간격)로 표층에서 바닥까지 유향, 유속, 전기 전도도 및 수온 등을 측정하였으며 제 3차 관측은 1984년 10월 25일에, 고조후 약 2시간 40분인 오전 11시 25분에 그림 1의 N 관측점에서 20~80cm 수심에 drogue를 띄우고 이를 추적해 가면서 그림 1의 N, A, B, C, D, E, F 및 G 등 각 관측점들에서 전기전도도와 수온을 1m 간격으로 수심별로 관측하였고 동시에 Rhodamine 염료의 확산 실험을 실시하였다.

제 1차 관측의 분석 결과는 전년도¹⁾(1983년도) 연구와 같은 방법으로 관측(정선관측)하였기 때문에 결론도 비슷하였다.

제 2차 관측은 집중 호우가 있는지 1~2일 후에 관측된 자료이어서 estuary의 혼합 특성을 살피는데는 유용하지 않았으나 낙동

강 하구에서의 홍수기의 특징을 보여주는 자료라고 생각되어 기록을 위해 간단히 수록하였다.

제 3차 관측은 estuary의 혼합 특성을 더욱 철저히 살펴보고자 처음으로 시도한 방법이었다. 이번 연구에서는 배와 장비 등의 여건이 여의치 못하여 썰물 단계에서의 관측만 실시하였다.

관측점들은 P는 김해공항 입구 앞, N은 낙동대교 1 km 하류, A는 강이 두支流로 갈라지고 난 후의 영도 상단, A'는 A에서 1.2 km 하류의 서쪽 둑 쪽, B는 하구 둑 건설 예정지, C는 西岸 강둑의 끝부분 초소 앞, D는 대마등 앞, E는 장자도 앞, F는 새등 앞, G는 하구의 水中砂丘 바로 밖에 있는 낙동포안의 관측점인데 A와 A' 사이에는 강의 중앙부의 河床에 저조시에는 강축 방향으로 길게 수면위로 드러나는 사구가 형성되어 강의 흐름을 양분하고 있다. 그래서 A와 A'는 가까이에 있으면서도 유속 및 염분 특성을 달리하고 있다.

이상의 관측 결과를 정리하여 본 논문에서는 낙동강 하구에서의 혼합 및 순환 특성을 알아 보았다.

2. 염분 특성

제 1 차 관측시에 각 관측점에서 성층계수 ($\Delta S / \bar{S}$)를 계산해 보면 P에서 0.15, N에서 0.31, A에서 0.125, A'에서 0.095, C에서 0.16으로, A'를 제외하면 모두 0.1보다 커서 염분의 연직분포가 성층을 이루고 있음을 나타낸다.²⁾ (그림 2, 3, 4, 5, 6)

위치 A, A' 및 C는 모두 낙동강 하구의 중앙지류내에 있는데 이 지류가 동지류와 갈라지기 전의 상류에 있는 P 및 N과 구별된다. 같은 지류에서는 하류쪽으로 갈수록 성층계수가 커지는 특성이 나타난다. (A 및 C와 P 및 N과의 비교)

우선, 수심이 N에서는 8.5 m 정도로 깊은데 지류가 갈라지면서 A에서는 4 m 정도로 (제 1 차 관측시) 급격히 감소하여 N의 저층수는 그 순환이 억제되며 따라서 조석주기 동안의 저층 염분변화가 그다지 크지 않게 되어 (그림 9) N에서 큰 성층이 나타나는 것이라 설명할 수 있다. 그러나 비교적 염분차가 크지 않은 중·상층류가 얇은 수심의 A로 흘러 나가므로 A에서는 성층계수가 감소되어 있는 것으로 생각된다. 그리고 N에서 중앙지류로 갈라지는 부분에서 강물의 흐름은 A쪽으로 굽어서 흘러가므로 이곳 중앙지류의 상단에서는 동쪽의 유속이 강한데, 이 흐름이 B에 이르러 때에는 다시 서쪽으로 굽어서 B쪽의 유속이 강하게 되며 이 상태는 C에까지 계속되는 것으로 관측 된다. (그림 1) 따라서 A

에서 A' 에 이르는 부분에서는 동쪽의 흐름이 강한 반면에 서쪽 부분에서는 어느 정도 흐름이 약한 停滯流的인 성격을 나타내므로 퇴적이 일어나, 흐름의 중앙부에 강축을 따라 저조 때에는 물위로 드러나는 砂丘가 형성되어 있으며 이 사구가 東流와 西流를 잘라놓게 된다. A' 는 이 서류의 하단부에 해당되는 곳에 있고 따라서 정체류적인 특성 때문에 연직으로 잘 혼합된 상태를 나타낸다. 동지류가 막힌 후(하구독공사의 진척으로 5월에 동지류가 막혔음)인 제3차 관측에 의하면 A의 수심은 8.6 m로 더 깊어지는 변화가 일어났다. 이것은 이 부근의 선박운항을 위한 준설 때문에 생긴 하상변화인데 제3차 관측시 중앙지류 중심부의 중앙사구 부근에도 하상변화가 있었는 지는 확인해 보지 못했다.

제3차 관측시의 성층계수는 N에서 0.78, A에서 0.80, B에서 0.80, C에서 0.42, D에서 0.41, E에서 0.01, F에서 0.00 등으로 N에서 D까지는 제1차 관측 때보다 월등히 커져 있음을 알 수 있고 D관측점 밖에서는 잘 혼합된 estuary의 특성을 보여주고 있다.

그림 7을 보면 수심이 깊은 N에서 B까지 에서는 중층에 강한 염분악층이 형성되어 있고 저층에는 고염분의 물이 자리잡고 있음을 알 수 있다. drogue를 띄운 시간이 고조후 2시간 40분이 라 전년도 연구결과³⁾나 금년 제1차 관측결과로 비추어 볼 때 대체로 轉流가 일어난 직후에 해당되며 따라서 가장 고염분을 나타낼

때이기는 하지만 표면염분의 값이 제 1 차 관측 때의 값인 내략 14 ~ 18 ppt (그림 3, 4, 6) 보다 훨씬 낮은 11 ~ 12ppt 를 나타내고 있는데 비해서, 바닥염분이 제 1 차 관측 때 (15 ~ 18ppt) 보다 훨씬 큰 25 ~ 30ppt 를 나타내고 있다. (그림 7) 정점관측은 하지 않았지만 전년도에나 금년도 제 1 차 관측 때에는 볼 수 없었던 변화가 나타났음을 알 수 있다.

앞으로 더 관측해 보면 사실여부를 확인할 수 있겠지만 제 1 차 관측 때와는 달리 A 에서 B 까지의 수심이 동쪽지류를 막기 전보다 더 깊어진 것이 이와같은 변화의 원인으로 보이는데 B 에서 C 로 가면서 갑자기 수심이 얕아지므로 이와같은 바닥지형이 N 에서 B 까지의 저층수를 가두어서 순환이 그다지 크지 않은 準停滯水로 만들기 때문에 이 저층수가 특이한 고염분을 나타내는 것이라 생각된다. 그리고 동지류에서 막힌 곳 까지의 1 부분은 완전정체수 (tidal trapping) 가 되어 있으므로 이 부분의 물도 N, A 및 B 의 수심 깊은 곳의 고염분수의 존재를 설명하는데 중요한 인자가 될 것이다.

제 1 차 관측 자료에서 염분의 시간변화 (그림 8, 9, 10, 11, 12) 는 潮位변화보다 1/4 주기 만큼 뒤지는 보통의 특성을 나타내고 있는데 유속의 시간변화와 비교하여 볼 때 특히 썰물에서 밀물로 전류되는 시간 전후에는 상·하층의 염분차가 작고 밀물에서 썰물로 전류시간 전후에서는 상·하층의 염분차가 크다. 이것은 대체로 밀물기간에 성층이 강하게 형성되는 반면에 상층류와 하층류의 유속

차가 큰 썰물기간에는 유속이 다른 층류 (shear flow) 에 의한 혼합이 강하게 일어나서 성층이 약해지는 것으로 판단된다.

한편 강축을 따라서의 평균 염분의 기울기는 p와 N사이에서 0.5 ppt/km , N과 A사이에서 0.7 ppt/km , A와 C사이에서 2.5 ppt/km 로 상류부분에서는 완만하고 하류쪽으로 갈수록 급격해지는 것을 알 수 있다.

제 1 차 관측 자료에서 관측점 P, N, A 및 C에서의 관측이 동시 관측이 아니라 1 내지 4 반일 주조 주기 (즉, 최대 2일 정도)의 시차를 두고 관측된 자료들이지만 관측기간 동안에 이 곳에서의 estuary 특성이 조석에 따른 주기적 변화 이외에는 큰 변화가 일어나지 않는다고 보고 각 관측점에서 조석주기에 있어서의 동일위상 시기에 관측한 값을 동시에 관측한 것으로 간주해서 염분이 최대가 되는 또는 성층이 최대가 되는 밀물에서 썰물로의 전류시의 염분 분포도와 그 반대의 위상시의 염분 분포도를 각각 그림 13 과 14 에 나타내었다. 이에 대한 해석은 혼합 특성 부분에서 언급하고자 한다.

제 3 차 관측 자료에서 표층의 염분변화를 그림 15 에 나타내었다. 실선은 최소 자승법에 의해서 그린 변화곡선이다. ($S = 9.727 \exp [0.00327368t]$) 이때에 강축 방향으로의 시간에 따른 염분기울기는 N과 A사이에서 0.2 ppt/km , A와 B사이에서 0.6 ppt/km , B와 D사이에서 0.6 ppt/km , D와 F사이에서 1.1 ppt/km 로 하류

로 가면서 기울기가 증가함을 알 수 있다.

제 3 차 관측에서 drogue 를 운반하는 물덩어리가 하류로 내려가면서 시간에 따라 염분이 증가하는 물은 N과 A사이에서 $0.3 \times 10^{-3} \text{ ppt/sec}$, A와 B사이에서 $0.7 \times 10^{-3} \text{ ppt/sec}$, B와 C사이에서 $0.4 \times 10^{-1} \text{ ppt/sec}$, C와 D사이에서 $0.8 \times 10^{-1} \text{ ppt/sec}$, D와 E사이에서 $0.6 \times 10^{-1} \text{ ppt/sec}$, E와 F사이에서 $0.7 \times 10^{-1} \text{ ppt/sec}$, F와 G사이에서 $0.9 \times 10^{-1} \text{ ppt/sec}$ 이었다. 이 경우도 대체로 변화율이 하류쪽으로 가면서 증가하는 경향을 보여주고 있다.



3. 유 속 특 성

제 1 차 관측 자료에서 구한 순환변수 ($\Delta u / \bar{u}$) 는 P에서 2.5, N에서 12.5, A에서 1.16, A'에서 0.89, C에서 2.86이다. 그림 16, 19, 20에서 보면 평균류들은 상층에서는 하향류를 하층에서는 상향류를 나타내고 있는데 N에서는 특히 상층과 하층의 유속이 큰 차이를 가지므로 순환변수가 월등히 크게 나타나고 있다. P에서 평균류는 전체적으로 하류향이 되어 조석영향이 약하게 나타남을 알 수 있고 (그림 16) N에서는 썰물 때에도 저층류는 상향의 흐름을 보여주고 있다. 대신에 표층류는 밀물 때라도 상향류가 강하지 못함을 나타내고 있다. (그림 17) 이것은 수심이 깊으며 강이 갈라지게 되는 이 부근에서 특이한 순환이 이루어지고 있음을 나타내는 것이다. 우선 강물의 흐름이 우세한 상층수는 썰물 때에는 물론 강하게 하향류를 나타내지만 밀물때 들어오는 상대적으로 염분이 높은 상류향의 물은 수심이 깊은 곳으로 밀려 들어오면서 염분이 낮은 표층수 아래로 가라앉게 되어 표층을 제외한 하층의 상류향유속은 강하나 표층유속은 밀려 들어오는 밀물의 영향을 덜 받아서 상류향유속이 약하게 나타나는 것으로 설명된다. 그리고 저층에서 썰물 때에도 상향류를 나타내는 것은 수심이 갑자기 얕아지는 강의 갈림지점 앞에 있는 이부근의 깊은 저층에 큰 와류가 있고 관측지점 N은 저층와류의 상향류부분에 해당되는 것으로 가정함으로

씨 설명이 될 수 있다. 그래서 저층수도 혼합과정을 계속하지만
 보다 위층의 물처럼 조석진동을 하면서 이류와 층류에 의한 활발한
 혼합을 거치지 않으므로 염분이 상대적으로 높으며 조석주기에 따라
 크게 염분값이 달라지지 않는다고 이해된다. 그리고 이 지점의 저
 층수는 동지류로 부터의 流入水에 큰 영향을 받을 것으로 짐작되
 는데 코리올리 효과의 영향으로 밀물때 바다쪽으로 올라오는 물은
 동지류쪽이 중앙지류쪽보다 더 강할 것이므로 이 물이 두 지류가
 만나는 곳인 N부근에서의 저층수를 이루는 主流가 될 것이라 생
 각된다. 강이 중앙지류와 동지류로 갈라지는 부분에서 강의 흐름
 은 동쪽으로 굽어 흘러서 A 쪽으로 더 강한 유속이 관측되는데 이
 때문에 강이 갈라진 후 중앙지류의 서쪽부분은 흐름이 정체류적인
 성질을 약하게 나타낸다. 그래서 이 부근의 강 중심부에서 강축
 을 따라 모래의 퇴적이 이루어져 저조 때에는 물위에 드러나는 건
 사구가 형성되어 있으며 이 사구의 좌우에서 흐름의 특성이 달라
 지게 된다. A는 중앙사구의 동쪽에 있고 밀물 때의 상향류와 썰
 물 때의 하향류가 모두 강하여 평균류는 얇은 표층류를 제외하고
 는 모두 상향류를 나타낸다.(그림 18) A'는 사구의 서쪽에 있
 고 밀물 때나 썰물 때의 상·하향류는 모두 약하며 평균류는 전
 층에서 약하게 하향류를 나타낸다.(그림 19) 그리고 앞에서 언급
 한대로 A'에서는 평균적으로 비교적 높은 염분을 나타내며 상류나 하
 류의 관측점 보다는 특이하게 잘 혼합된 상태를 나타낸다. 썰물

때 A쪽(중앙사구동쪽)의 흐름이 강한 것은 강이 이 근방에서 동쪽으로 굽어서 흐르기 때문이라고 설명되는 반면 밀물 때에도 이쪽의 흐름이 강한 것은 코리올리(Coriolis) 효과 때문으로 해석된다. (그림 1) 이런 이유로 A쪽은 A'쪽(중앙사구서쪽) 흐름보다 성층이 더 되어있고 순환변수도 크다.(그림 18) 그리고 A'쪽은 어느 정도 정체류적인 성격을 가지므로 잘 혼합되어 있고 순환변수도 작게 나타난다.(그림 19) 유속의 시간변화를 살펴보면(그림 21, 22, 23, 24, 25) 대체로 저조후 2시간 반 정도에, 고조후 2시간 정도에 전류가 일어나는데 이것은 이 곳 낙동강 하류에서 조석파가 정상파적인 특색보다는 진행파적인 특색이 강함을 뜻하는데 그 이유는 관측구역이 하류보다 상류쪽이 더 깊어서 하상에 의한 조석파의 반사가 크지 못함에 기인하는 것으로 설명된다. 이것은 전년도 11월 관측시에 B와 C에서는 진행파적인 특성을 나타낸다는 결론과 일치한다.⁴⁾ 그리고 밀물 때에는 층간의 유속차가 크지 않은데 비해 썰물 때에는 그것이 크며 따라서 층간의 유속차에 의한 혼합(shear mixing)이 썰물기간 중에 크게 일어날 것으로 기대된다.

4. 혼 합 특 성

앞에서 구한 성층변수와 순환변수에 의해 Hansen-Rattray의 분류법⁵⁾으로 각 관측점들의 estuary 분류를 해보면 그림 26 과 같이 A와 A'는 1형에 속하여 비교적 잘 혼합된 편이고 P, N 및 C는 2b형에 속하여 일정 깊이에서 역류가 있는 부분적으로 혼합된 estuary에 해당되며 이류와 확산에 의해 상류쪽에서의 염분수송이 일어나고 있음을 알 수 있다. 염분의 시간변화를 살펴보면(그림 8, 9, 10, 11, 12) 앞에서 지적한 바와 같이 썰물이 밀물로 전류되는 시간 전후에서는 상·하층의 염분차가 작는데 반대의 전류시간 전후에는 상·하층의 염분차가 크다는 것을 알 수 있다.(N은 제외) 이것은 대체로 밀물기간에는 이류에 의하여 염분이 상류로 운반되면서 점점 성층이 강화되어 가고, 반면 썰물기간 중에는 상·하층간의 유속차가 심하므로 shear에 의한 entrainment 혼합이 강하게 일어나 점점 성층이 약화되기 때문이라 설명할 수 있다. 그리고 N에서 저층 염분변화가 중·상층의 조석주기에 따른 변화와 달리 비정상적인 변화를 하는 이유는 앞에서 말한대로 이 부근의 저층수가 큰 와류를 이루며 정체류적인 특성을 나타내기 때문이다.

낙동강 하구에서의 혼합특성을 자세히 살펴보기 위해서 그림 13 과 14를 보면, 그림 13에서 전연 혼합이 안된 바닷물의 썩기가 C를 지나 A에까지 이르고 있고 A에서 N사이에서는 염분 연직 기울기

가 큰 저층수와 비교적 잘 혼합된 상층수의 분포를 볼 수 있으며 N보다 상류의 물은 비교적 잘 혼합되었음을 볼 수 있다. P에서 N까지에는 표면 염분기울기가 완만하지만 N에서 A, A에서 C로 가면서 점점 표면 염분기울기가 커지는 것을 볼 수 있다. 따라서 N에서 A, 혹은 C사이에서 연직혼합과 수평혼합이 활발하게 일어남을 알 수 있다. 그림 13과 같은 염분분포는 썰물이 강해지면서 점점 P와 N사이에서 보이는 저염분이며 잘 섞인 물의 분포가 하류쪽으로 밀려 내려가고, 동시에 빠른 상층수와 느린 하층수 사이에 층류 때문에 entrainment에 의한 연직혼합이 활발해져서 염분의 연직기울기는 더욱 감소되어 성층이 약화되어, 더 잘 혼합된 물이 되어 하류로 흘러서 강밖 낙동포로 흘러나갈 것이다. 그래서 썰물이 밀물로 전류되는 때에는(그림 14) 대체로 잘 혼합된 물의 분포가 C에까지(작년도 11월 관측결과에 의하면 D까지도)⁶⁾ 분포하게 된다.(그리고 금년도 제3차 관측 때는 E이하에서는 완전히 혼합된 물을 관측할 수 있었다. D에서는 표층염분이 15ppt이고 저층염분이 235ppt 정도인데 E와 F에서는 전층이 거의 18ppt로 균일하였고 G에서는 전층이 24ppt로 균일하였다.) 이상의 자료에서 이류(advection)에 의한 상류로의 염분수송은 밀물때 주로 일어나지만 이 기간에는 상·하 유속차가 작고 성층이 크므로 상층으로의 염분혼합은 확산(diffusion)에 의해 이루어지며 이 과정이 활발한 곳은 N이하의 하류이며 특히 A에서 N으로 가면서 수

심이 깊어지는 부분에서 염분기울기가 큰 중층수가 수심 깊은 곳으로 퍼져들어가면서 turbulence가 커지므로 급격한 연직혼합이 이루어질 것으로 생각된다. 썰물기간 중에는 상·하 유속차가 크므로 entrainment에 의한 혼합이 활발해져서 성층은 점점 약해지며 이와 같은 경향은 상류로부터의 물덩어리가 하류로 흘러 내려가면서 시간이 경과함에 따라 계속 진행되어서 제 3차 관측지 각 지점에서 나타나는 것처럼 E에 이르러서는 잘 혼합된 물이 되어 강 밖으로 흘러나가게 된다. 그리고 그림 14에서 나타나는 또 하나의 특징은 N의 저층에 잘 혼합된 상층과는 달리 상대적으로 염분이 높은 물덩어리가 있음을 볼 수 있는데 앞에서의 염분특성 부분에서 논한 바 있는 이 부근 저층수의 특성을 나타내는 또 하나의 일면이라 할 수 있다.

이상은 제 1차 관측결과를 설명한 것인데 제 3차 관측결과는 동지류가 막히고 하상변화가 일어났으므로 또 다른 양상을 나타내고 있다. 즉, 수심이 깊은 곳이 B까지 연장되어 이곳의 저층에 두꺼운 고염분층이 형성되어 있는 점이 제 1차 관측 때와는 다르다. 제 3차 관측은 주로 썰물 때의 표층수의 운동과 혼합과정에 관심을 둔 것이었기 때문에 다시 한번 정점관측을 실시한 후에 변화된 양상을 논의함이 타당할 것이다.

제 1차 관측결과에서 연직 확산계수를 다음 식 7)에서 근사적으로 구하면

$$K_x = \frac{\int u \frac{\partial s}{\partial x} \cdot dz}{\frac{\partial s}{\partial z}} \quad (1)$$

P에서 N사이에서 $37.7 \text{ cm}^3/\text{sec}$, N에서 A사이에서 $634.1 \text{ cm}^3/\text{sec}$, A에서 C사이에서 $36.1 \text{ cm}^3/\text{sec}$ 이다. 이 결과는 앞에서 언급한 바와 같이 N과 A사이에서 연직확산이 클 것이라는 짐작과 일치한다.

강측을 따른 수평 확산계수를 다음식⁸⁾에서 근사적으로 구하면

$$K_x = -F_d / [\partial \langle S \rangle_{yatT} / \partial x] \quad (2)$$

$$[\text{단, } F_d = \langle SV \rangle_{yatT} - \langle S \rangle_{yatT} \langle V \rangle_{yatT}]$$

P와 A사이에서 $1.9 \times 10^6 \text{ cm}^3/\text{sec}$, N과 C사이에서 $1.0 \times 10^8 \text{ cm}^3/\text{sec}$ 등이다. 이 결과도 상류에서 보다 N이하의 하류에서 혼합 작용이 클 것이라는 앞에서의 논의와 잘 일치한다.

제3차 관측결과에서 수평 확산계수를 다음 식⁹⁾에서 근사적으로 구하면

$$\frac{ds}{dt} = K_x \frac{\partial^2 s}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 s}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 s}{\partial z^2} \quad (3)$$

N에서 B사이에서 $6.8 \times 10^7 \text{ cm}^3/\text{sec}$, C와 E사이에서 $3.3 \times 10^8 \text{ cm}^3/\text{sec}$ 이다. 이 결과는 앞에서 구한 확산계수 보다 대체로 큰 값을 나타내고 있는데 앞의 값들은 전층 평균으로 구한 것이고 수평확산만이 포함되어 있는데 비해 후자들은 식(3)에서 횡단면 확산과

연직 확산이 실제로는 존재하나 무시하였기 때문에 K_x 값이 크게 계산된 것으로 해석된다. Rhodamine 염료실험에 의하여 계산된 확산계수는 N에서 $608 \text{ cm}^2/\text{sec}$, A에서 $2276 \text{ cm}^2/\text{sec}$, B에서 $2028 \text{ cm}^2/\text{sec}$, C에서 $909 \text{ cm}^2/\text{sec}$, D에서 $767 \text{ cm}^2/\text{sec}$, E에서 $300 \text{ cm}^2/\text{sec}$, F에서 $2733 \text{ cm}^2/\text{sec}$, G에서 $2950 \text{ cm}^2/\text{sec}$ 등이다. 이 값은 앞에서 구한 값들과 큰 차이를 보이는데 이것은 표면 확산만을 계산한 점과 짧은 시간 관측에 의한 계산이기 때문에 여러가지 다른 요인에 의한 혼합효과는 나타나지 않고 분자확산 효과만이 주로 나타났기 때문으로 해석된다.

제 1 차 관측시 한 조석주기 동안 (12.4시간)의 유량을 다음 식¹⁰⁾으로 근사적으로 구하면

$$R = \bar{A}\bar{u} - \frac{1}{2} A_0 U_0 \quad (\text{진행파일 경우}) \quad (4)$$

C에서는 $2.06 \times 10^7 \text{ cm}^3$ 이었다. 조석 프리즘체적을 다음 식으로 근사적으로 구하면

$$P = \int_0^{\frac{1}{2}} A \sin \frac{2\pi x}{\lambda} \cdot dx = \frac{A\lambda}{\pi} \quad (5)$$

C에서는 $1.7 \times 10^8 \text{ cm}^3$ 이었다.

5. 홍수시의 특성

집중 호우가 있는 다음 1일 및 2일 후에 A, C 및 D에서 관측한 결과, 염분은 거의 관측이 안 되었고 전 조석주기 동안 전 층에서 하향류의 흐름만이 관측되었는데 그래도 이 하향류의 강약은 조석주기에 따라 주기적으로 변하며 그 위상이 조석의 위상과 일치함을 그림 27, 28, 29에서 확인할 수 있다. 이때의 유량은 A에서는 $1.91 \times 10^8 \text{ m}^3$, C에서는 $5.35 \times 10^7 \text{ m}^3$ 및 D에서는 $4.6 \times 10^7 \text{ m}^3$ 등이었다.




6 . 결 론

이번 연구에서 얻은 결론은 1년 전의 연구 결과¹¹⁾와 많은 부분에서 일치함을 확인하였으며 새로 얻은 결론들을 정리하면 다음과 같다.

- 가. 강의 수로내에서의 조석파는 진행파적인 특색이 강하다.
- 나. 밀물시의 고염분 빼기는 동지류와 중앙지류의 분지점보다 상류의 수심이 깊은 부분에까지 이른다.
- 다. 이 분지점 부근 이하의 하류에서 주로 혼합 및 확산과정이 일어난다.
- 라. 밀물기간에는 이류에 의한 염분의 상류향수송이 일어남에 따라 성층이 강화되고 따라서 확산에 의한 염분 연직혼합도 강하게 된다.
- 마. 썰물 기간에는 중간 유속차에 의한 entrainment 혼합이 강화되어 하류로 갈수록 성층이 약화되어 잘 혼합된 물이 되어 강밖으로 흘러 나간다.
- 바. 동지류가 막힌 후에 하상의 변화가 일어나 수심이 깊은 영역은 하구 둑 건설 예정지점 까지로 확대되었고 이 수심 깊은 곳의 저층에는 상당한 고염분의 물이 정체되어 있음이 관측되었다. 동지류가 막힌 후의 혼합 및 확산영역의 변화를 살펴보기 위해서는 앞으로 관측이 더 필요할 것으로 생각된다.

사. 홍수 때에는 전 조석주기 동안 하류항 흐름만이 존재하나 그 강약은 조석주기와 동일위상으로 주기적으로 변하며 염분은 대마등 앞에서도 거의 관측되지 않았다.



이 논문이 나오기까지 지도를 아끼지 않으신 지도교수 유홍선 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

아울러 많은 도움을 주신 여러 교수님들과 관측작업에 참여한 학생 여러분께 감사를 드립니다.

또한 어려움속에서도 격려해주신 부모님께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 유흥선의 외 3명, 낙동강 하구의 해양학적 특성연구, 한국해양대학
해사기초과학연구소, 논문집 제 1집, 3, 1984, p.2.
2. 유흥선의 외 3명, *ibid.* p.3.
3. 유흥선의 외 3명, *ibid.* p.4.
4. 유흥선의 외 3명, *ibid.* p.4.
5. Hansen, D.V., and Rattray, Jr.M., New dimensions in estuary
classification, *Limnology and Oceanography*, 11, 1966, pp.
319 ~ 326.
6. 유흥선의 외 3명, *ibid.* p.3.
7. Officer, C.B., *Physical Oceanography of Estuaries*, 1976, p.
192.
8. Posmentier, E.S., and Raymond, J.M., Variations of longitu-
dinal diffusivity in the Hudson Estuary, *Estuarine and
Coastal Marine Science*, 8, 1979, p.556.
9. Hugo, B.F 외 3명, *Mixing in Inland and Coastal Waters*,
1979, pp.65 ~ 71.
10. Dyer, K.R., *Estuaries: A Physical Introduction*, 1973, pp.29
~ 30.
11. 유흥선의 외 3명, *ibid.* p.9.

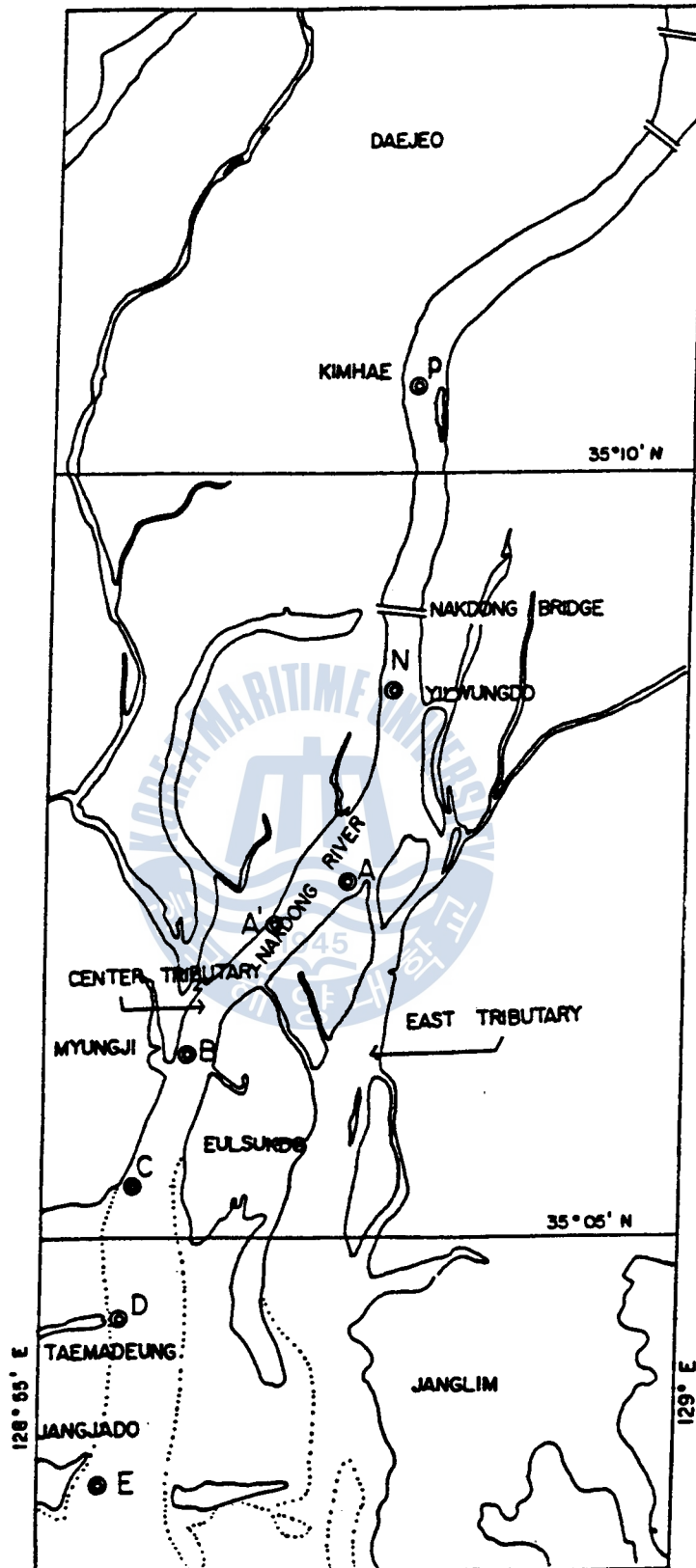


그림 1. 연구수역

Z/h

0.0

0.1

0.2

0.3

0.4

0.5

0.6

0.7

0.8

0.9

10

11

12

13

14

‰

洛東江 河口에 對한 湖川水斗 混合 二 循環特性

223

○ — Ebb
△ — Flood
□ — Mean

그림 2. P에서 鹽分 濃度분포 (1984.3.30)

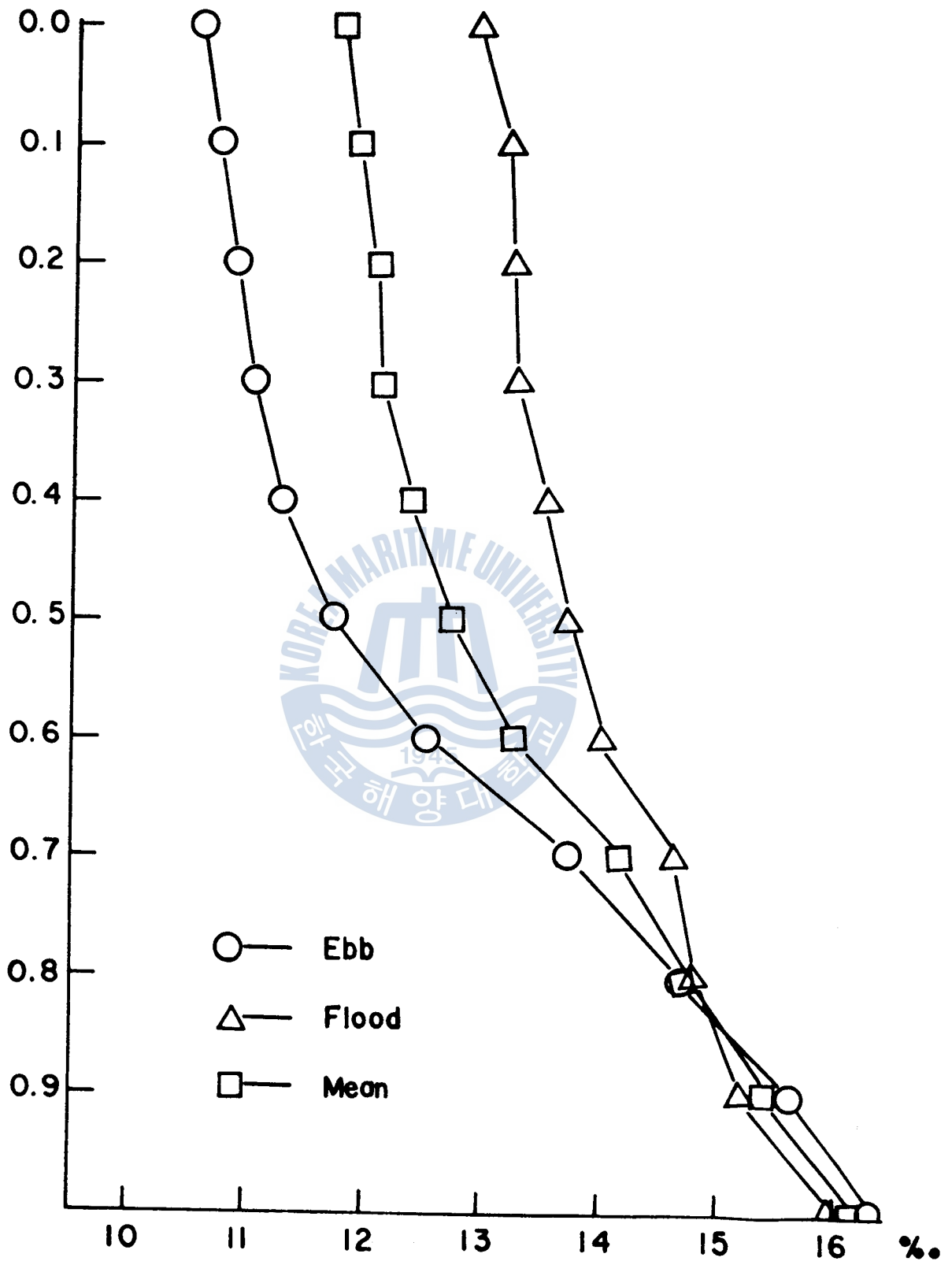


그림 3. N에서의 염분 연직분포 (1984.3.31)

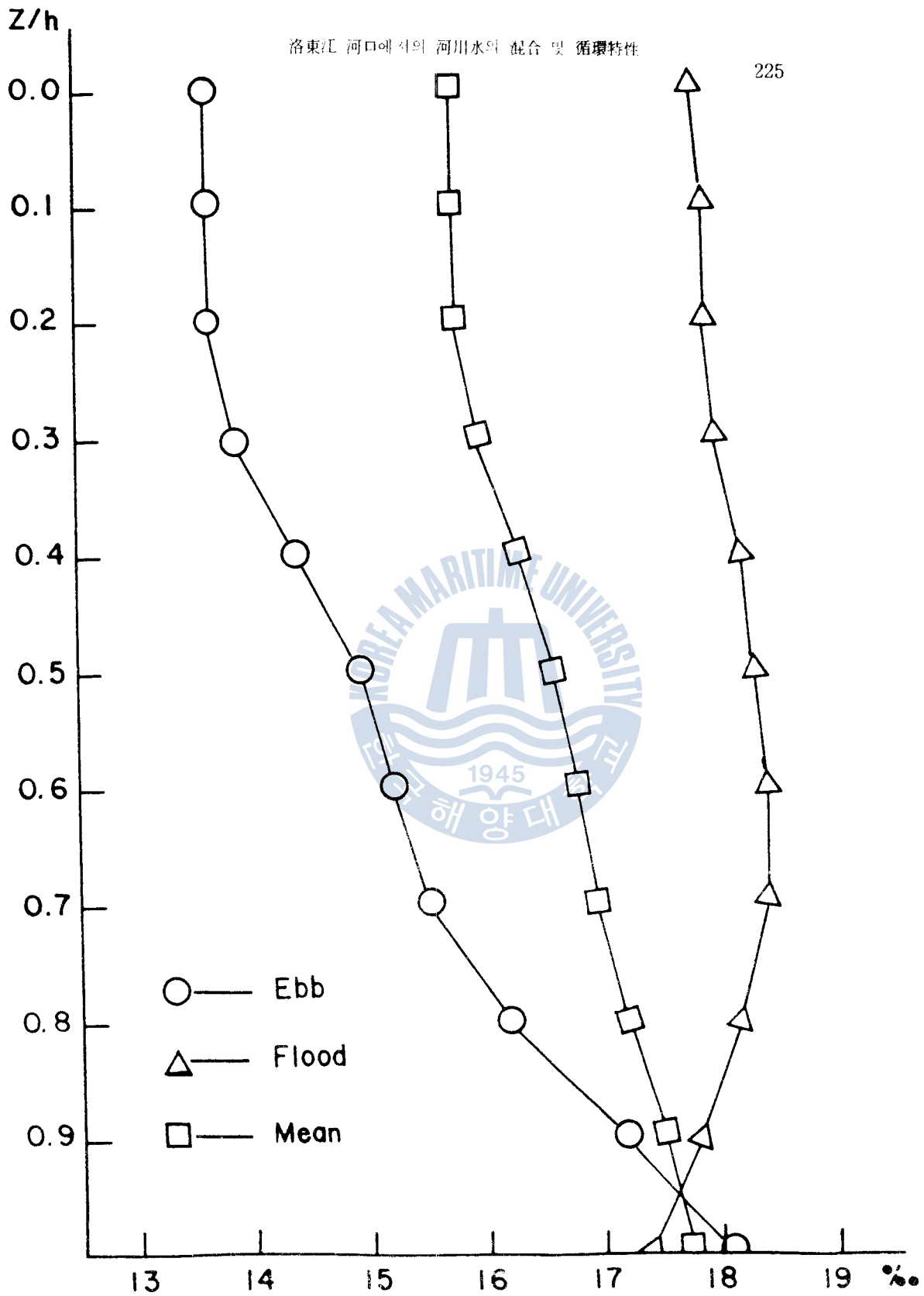


그림 4. A에서의 역분 현상 분포 (1984.3.31)

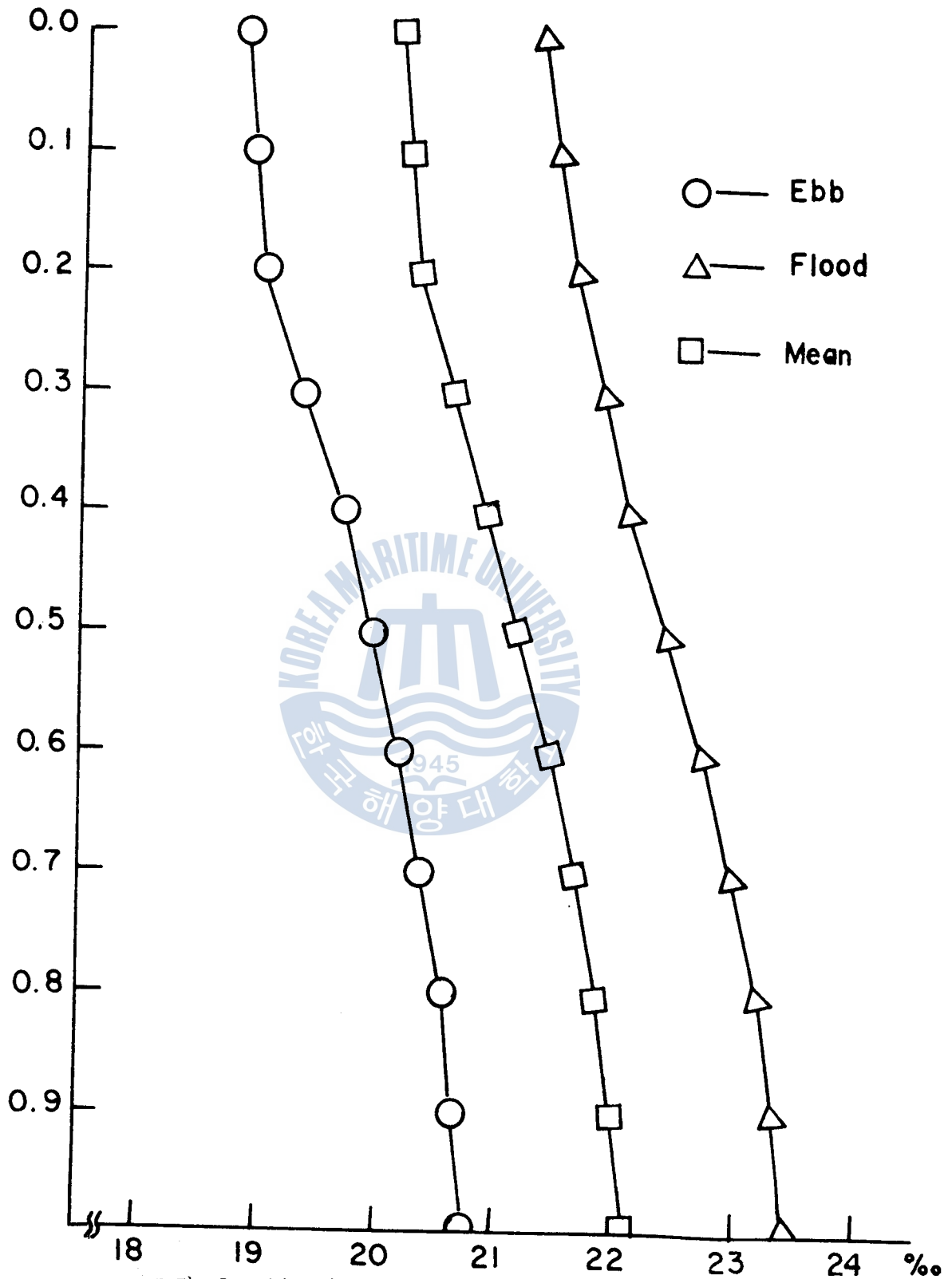


그림 5. A' 에서의 염분 연직분포 (1984.3.30)

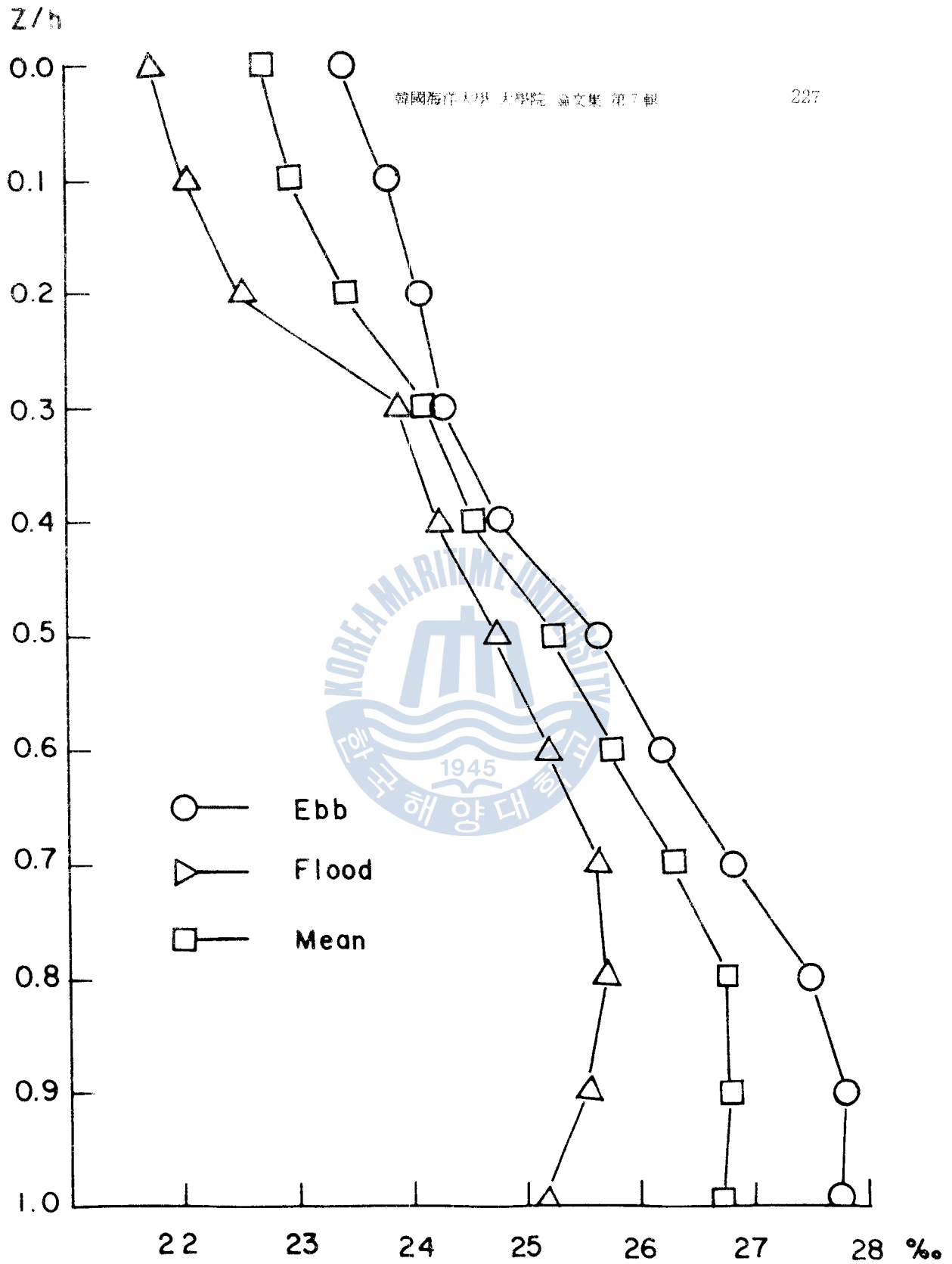


그림 6. C에서의 염분 연직분포 (1984.3.29)

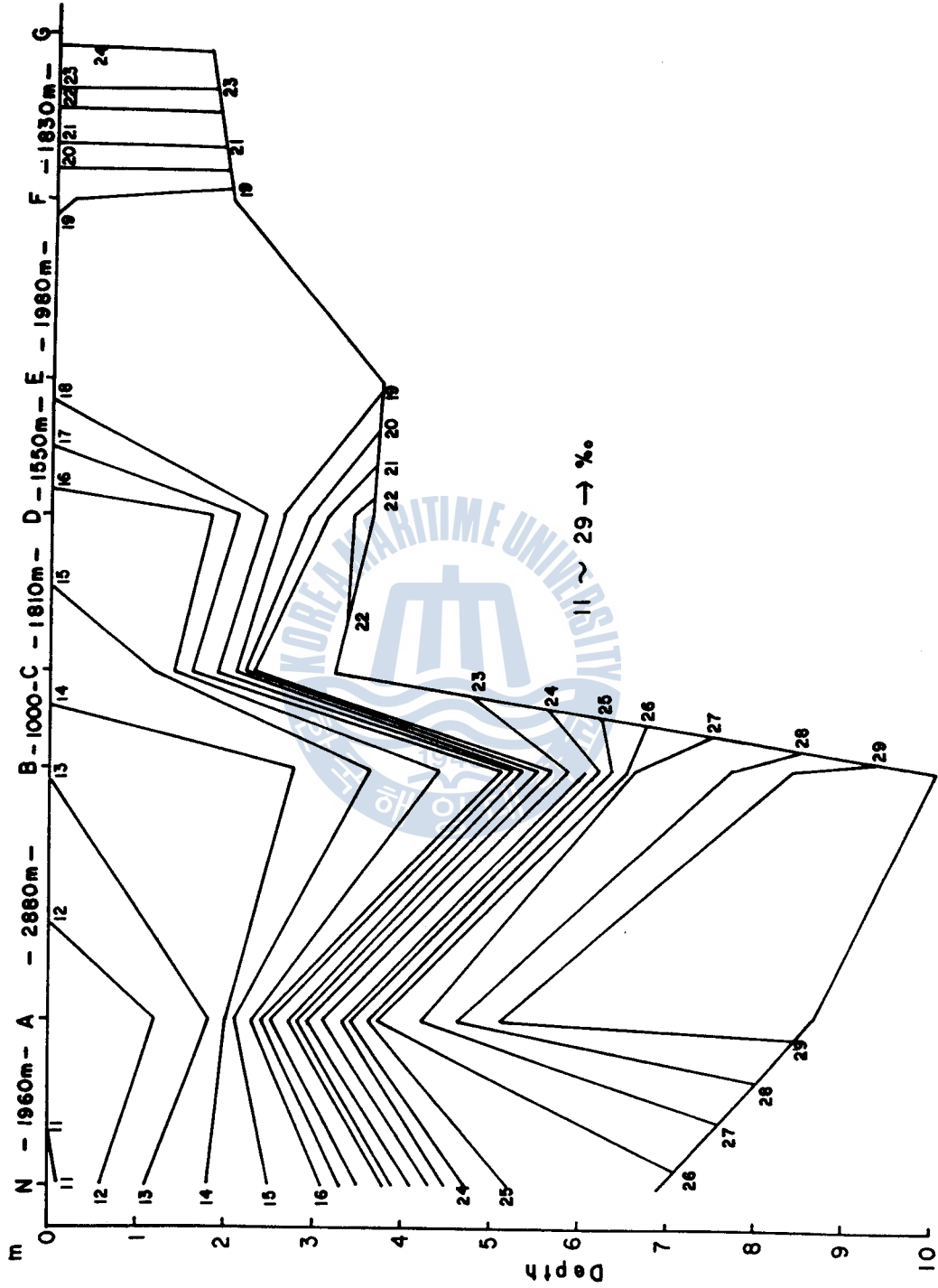


그림 7. Drogue 추적시의 염분 분포도 (1984.10.25)

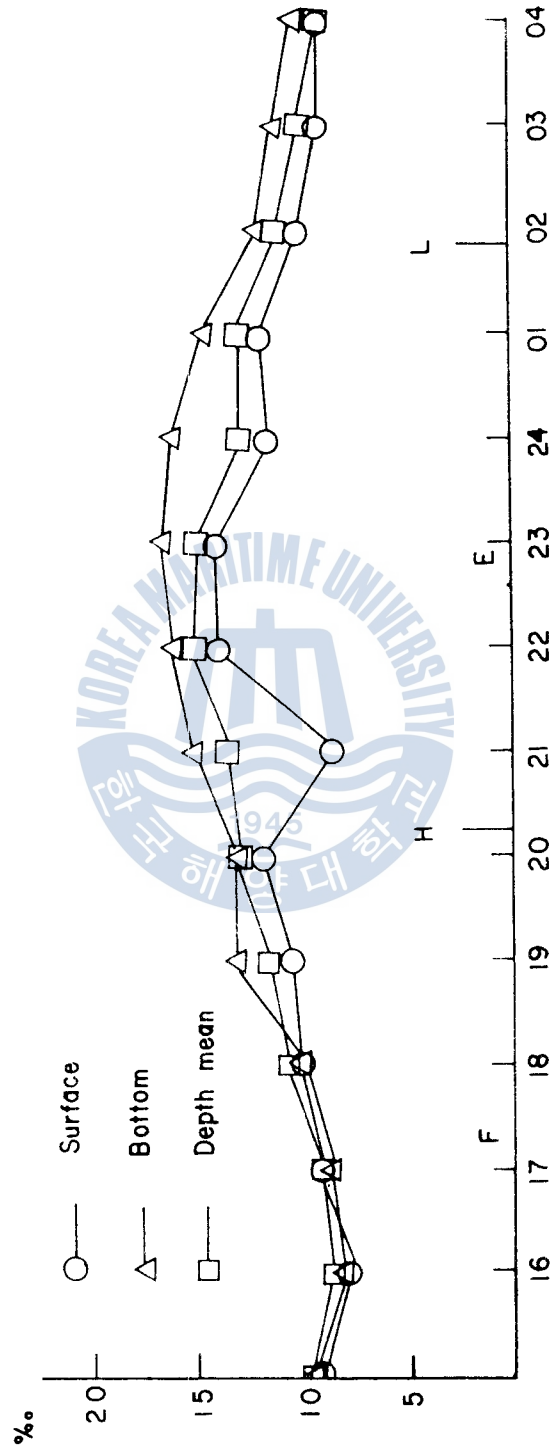


그림 8. P에서의 염분 시간 변화 (1984.3.30)

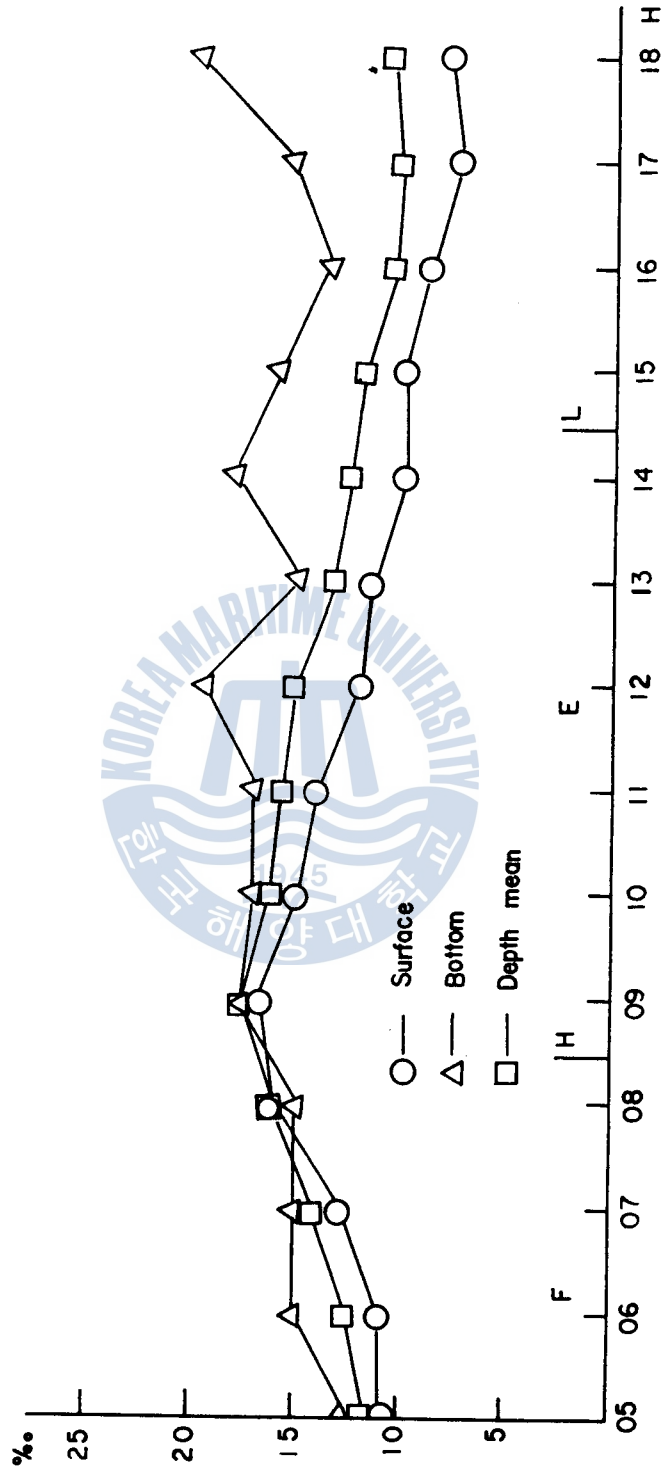


그림 9. N에서의 염분 시간 변화 (1984.3.31)

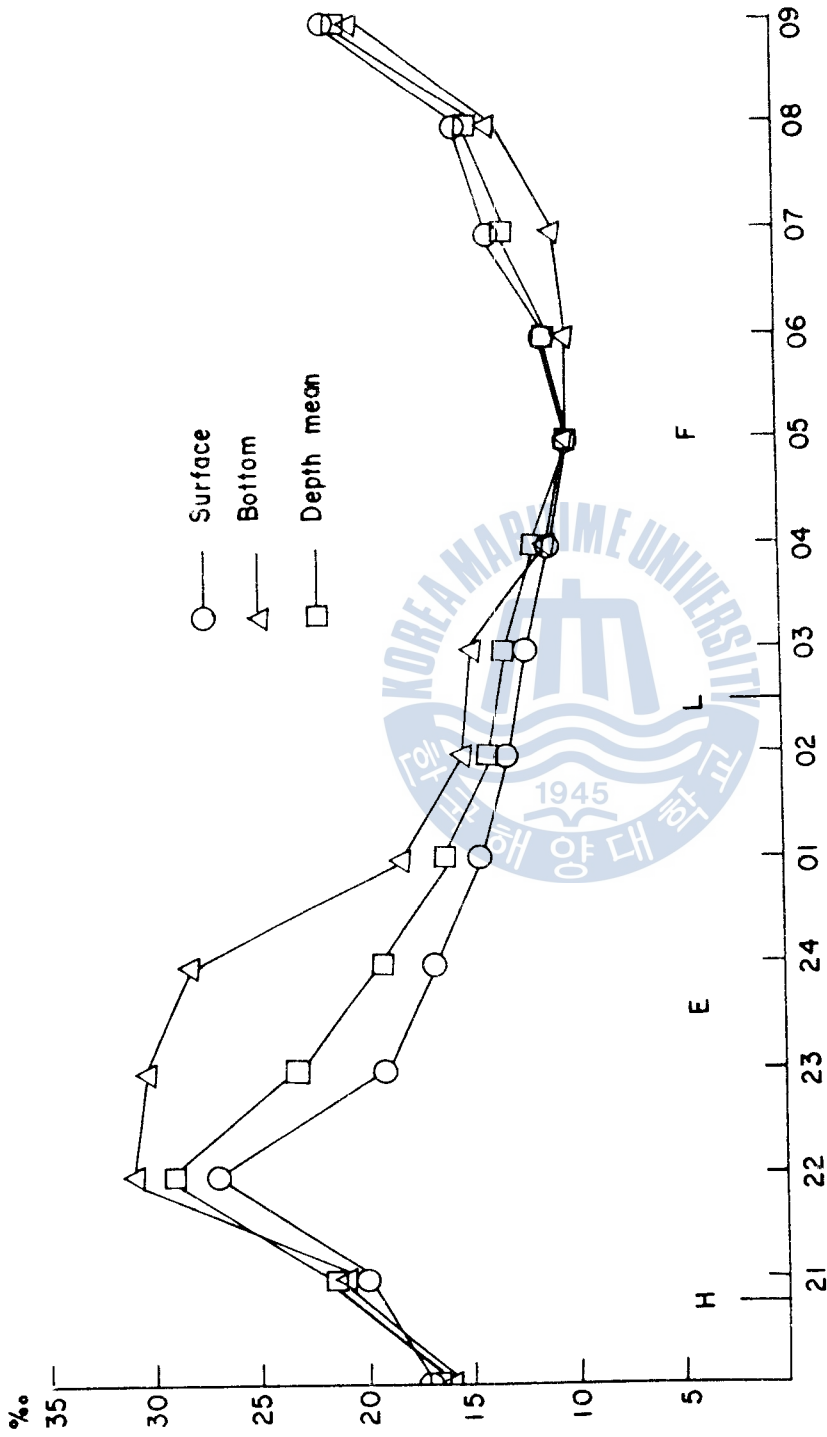


그림 10. A에서의 염분 시간 변화 (1984.3.31)

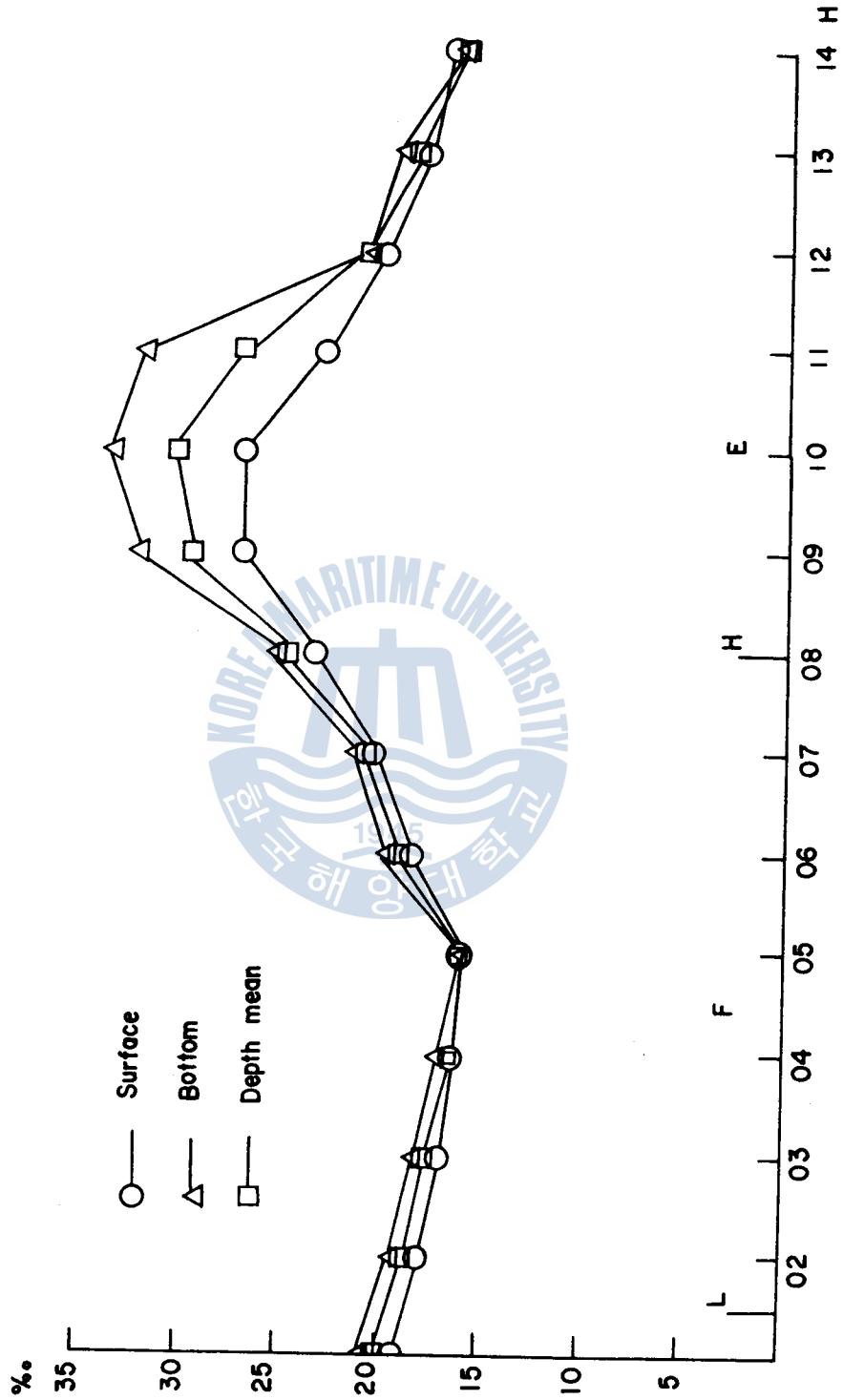


그림 11. A'에서의 염분 시간 변화 (1984.3.30)

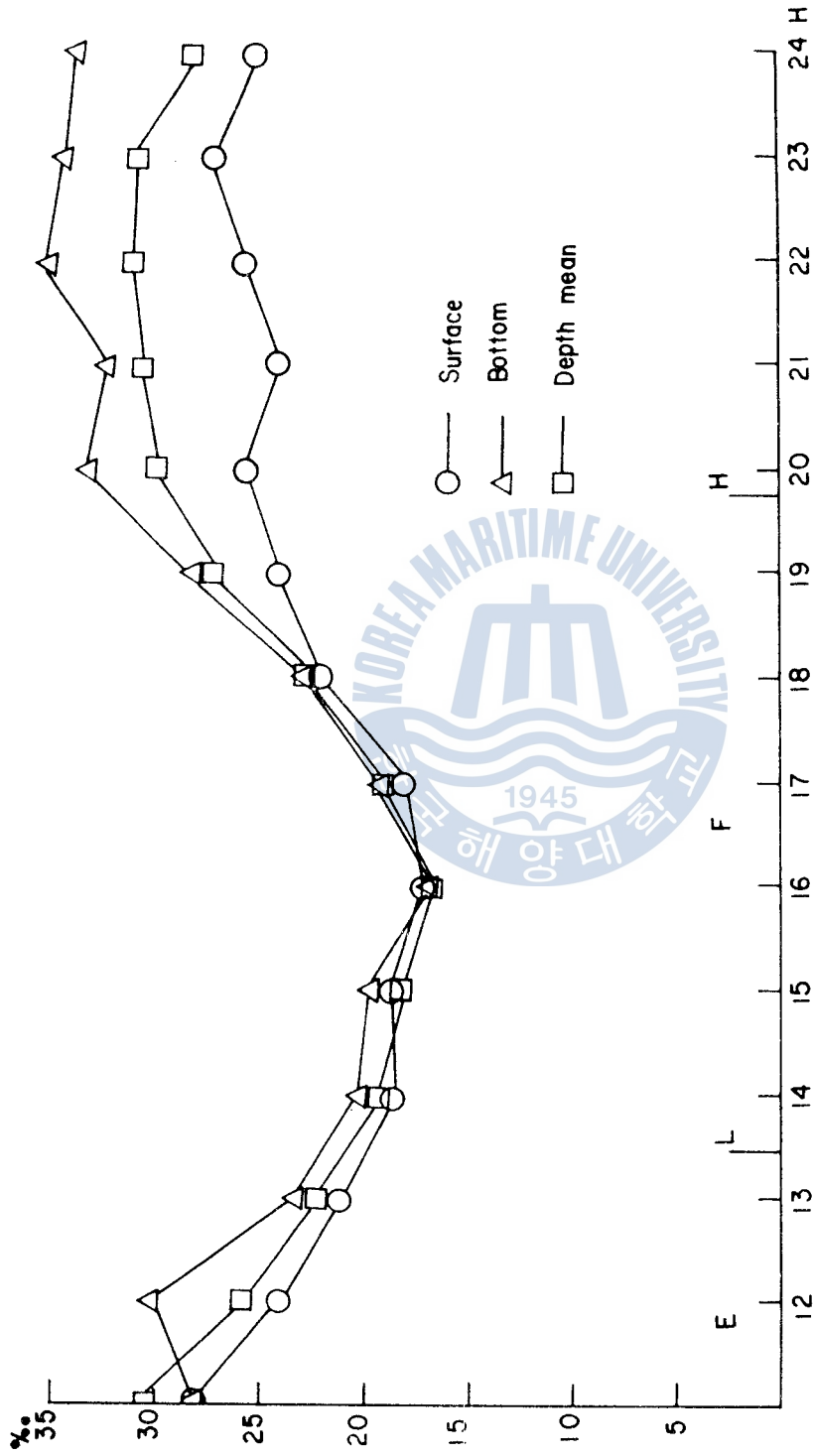
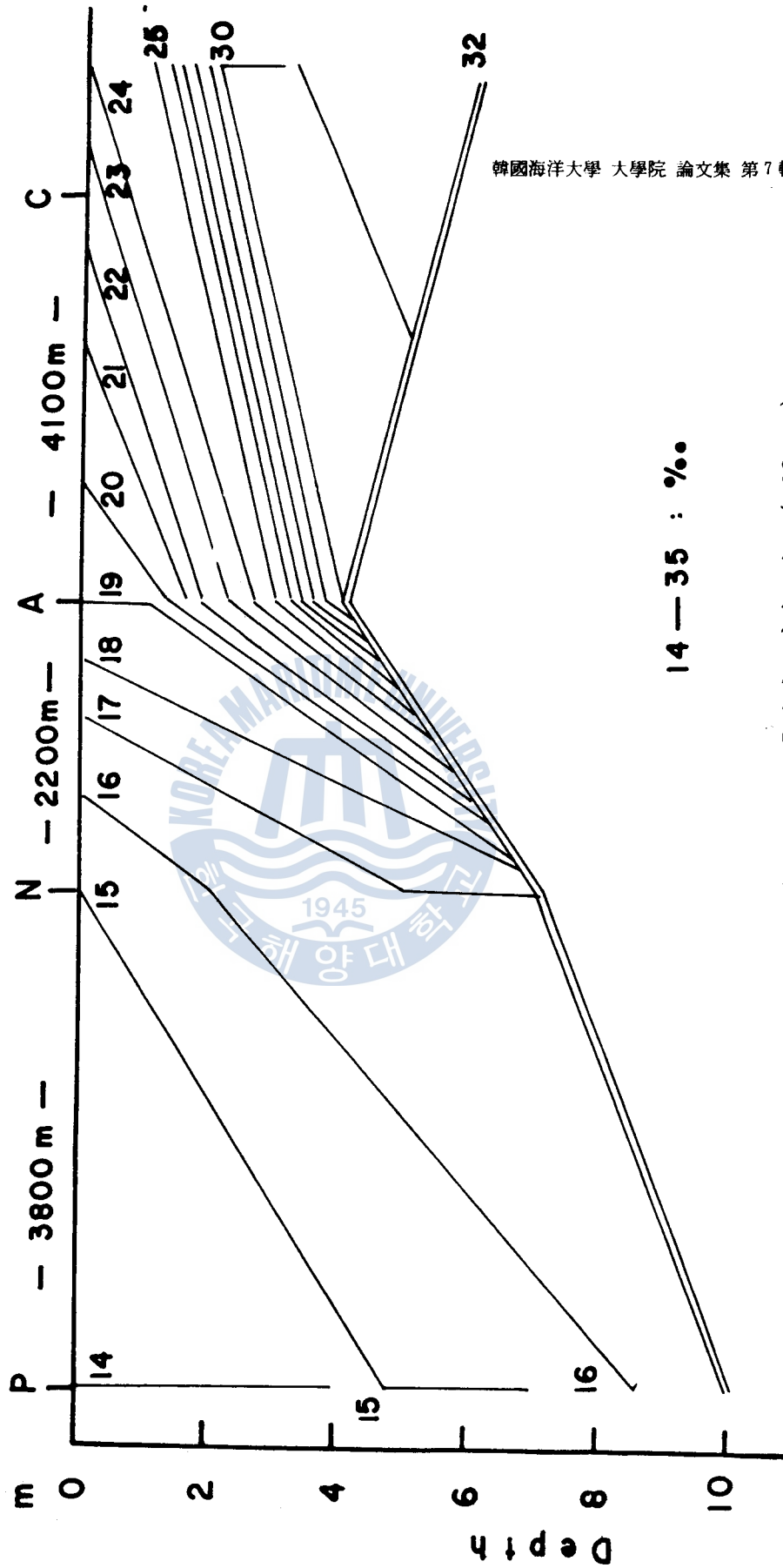


그림 12. C에서의 염분 시간 변화 (1984.3.29)



14—35 : ‰

그림 13. 밀물에서 썰물로의 전류시의 염분 분포 (1984.3)

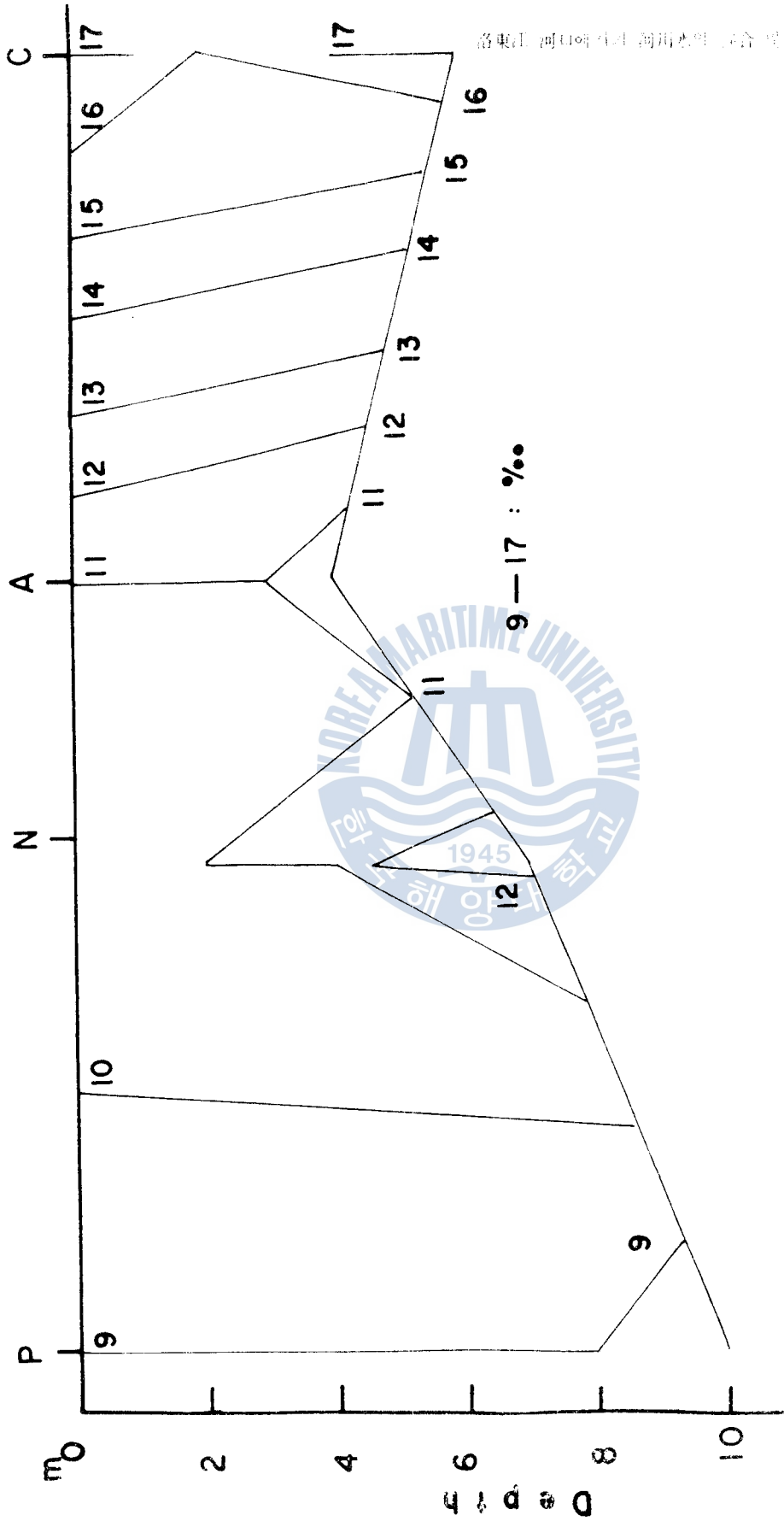


그림 14. 설물에서 밀물로의 진류시의 염분 분포 (1984.3)

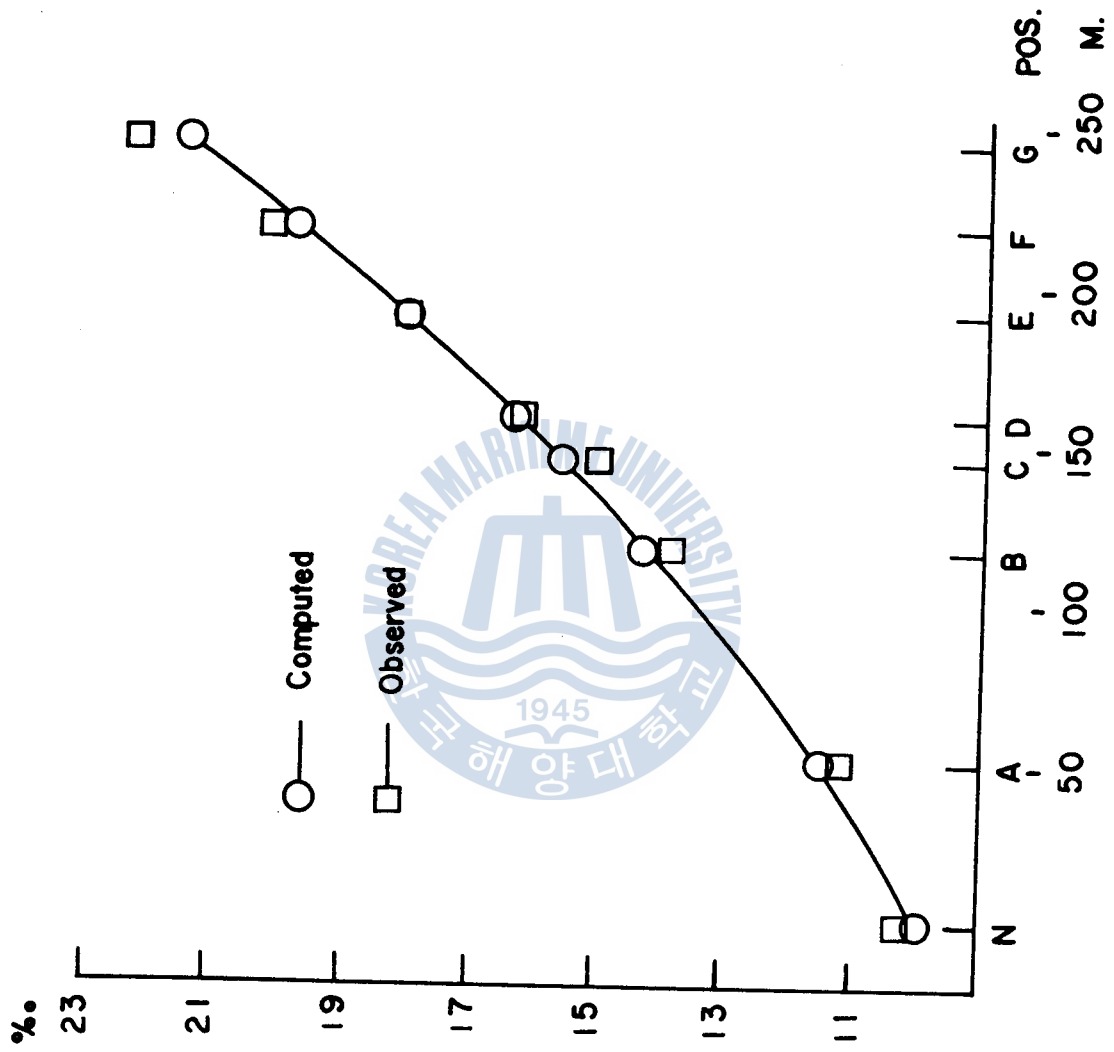


그림 15. Drogue 추적시의 표면 염분 기울기 (1984.10.25)

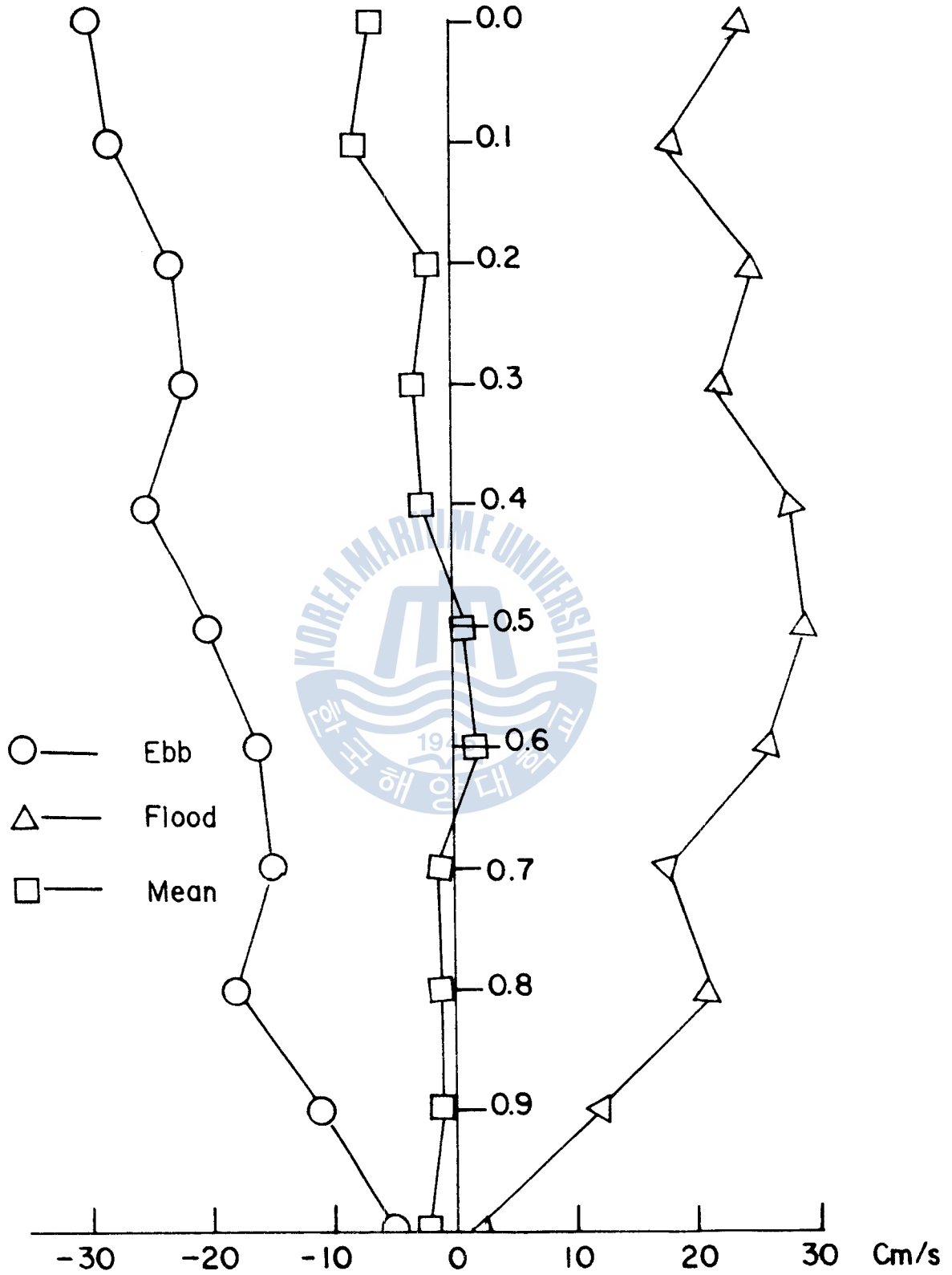
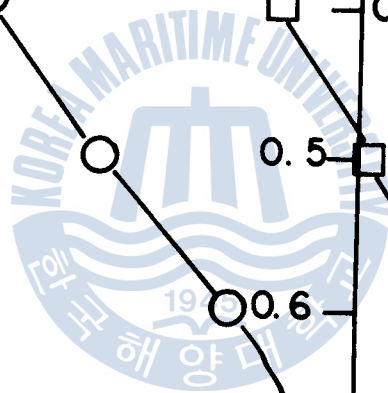
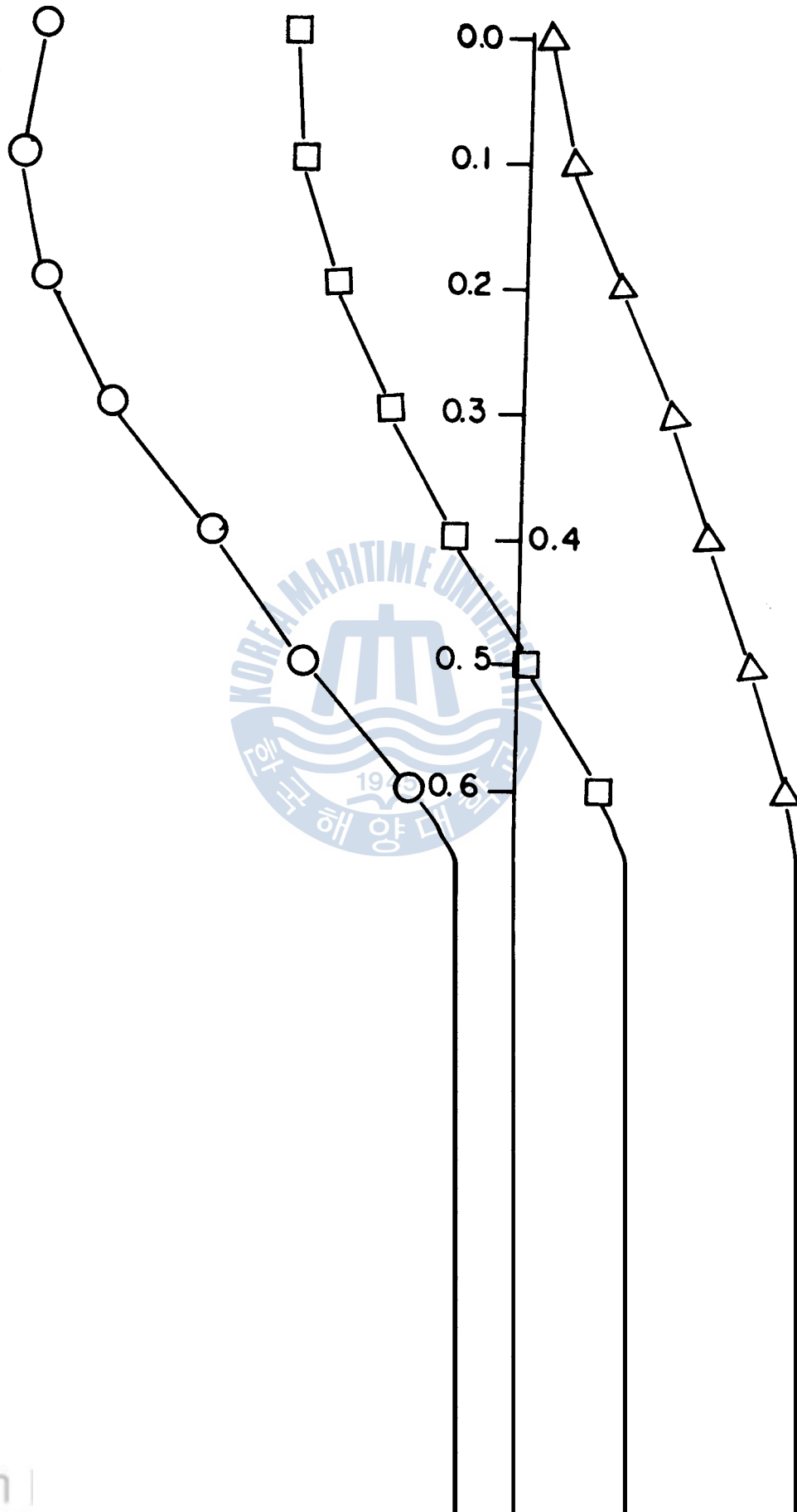


그림 16. P 에서의 유속 연직 분포 (1984.3.30)

Z/h



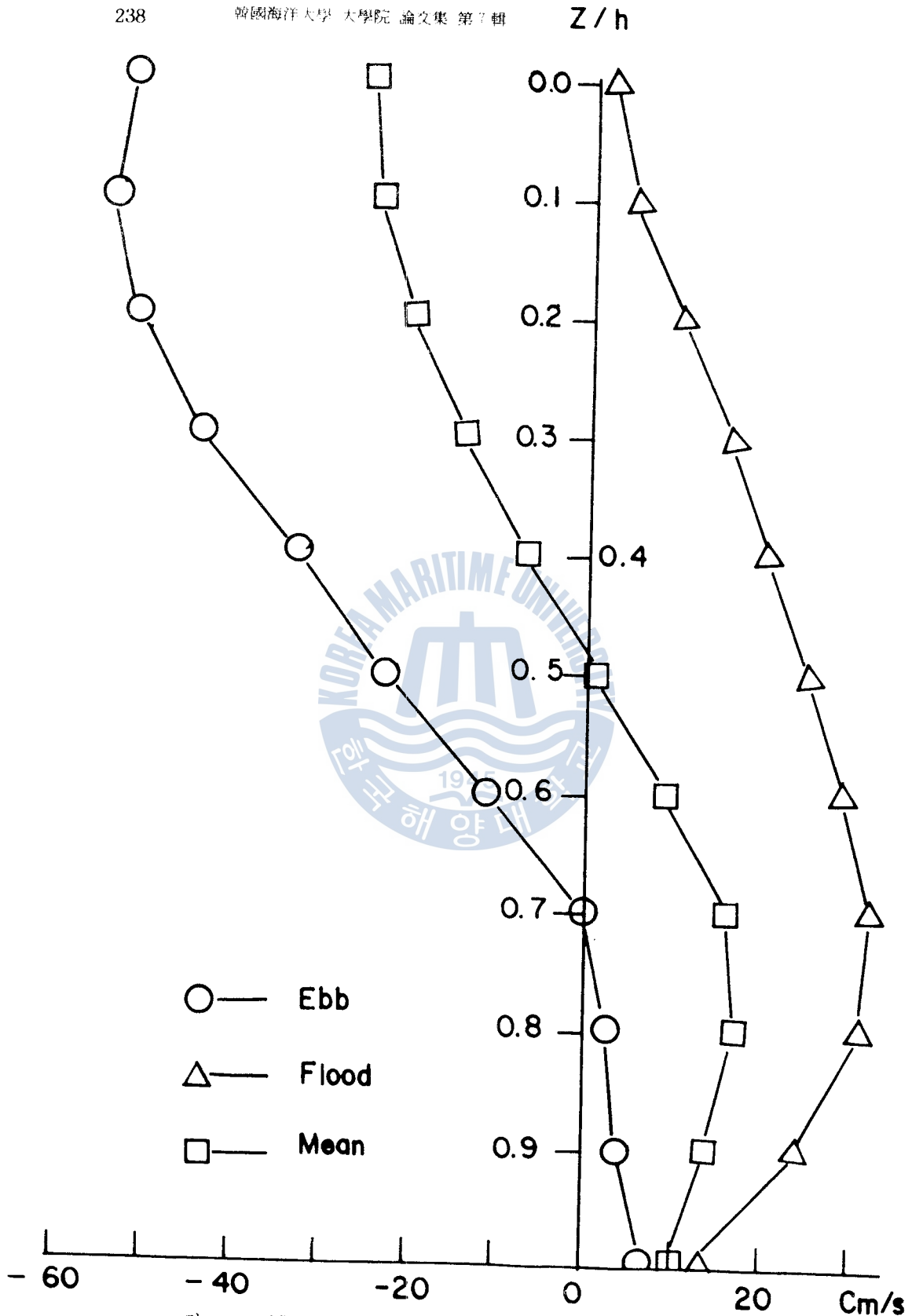
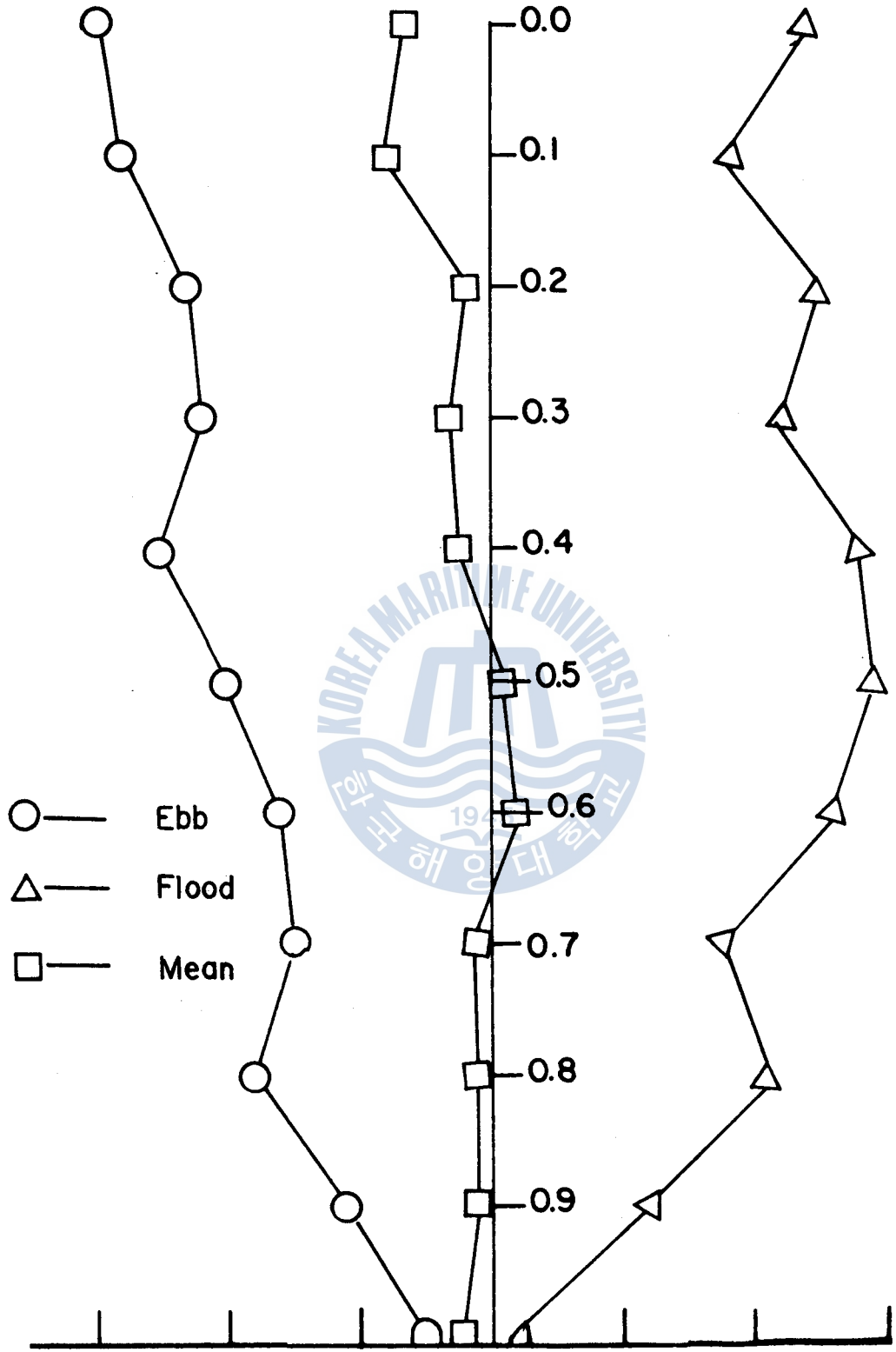


그림 17. N 에서의 유속 연직 분포 (1984.3.31)

Z/h

洛東江 河口에서의 河川水の 混合 및 循環特性

237



洛東江 河口에서의 河川水의 混合 및 循環特性

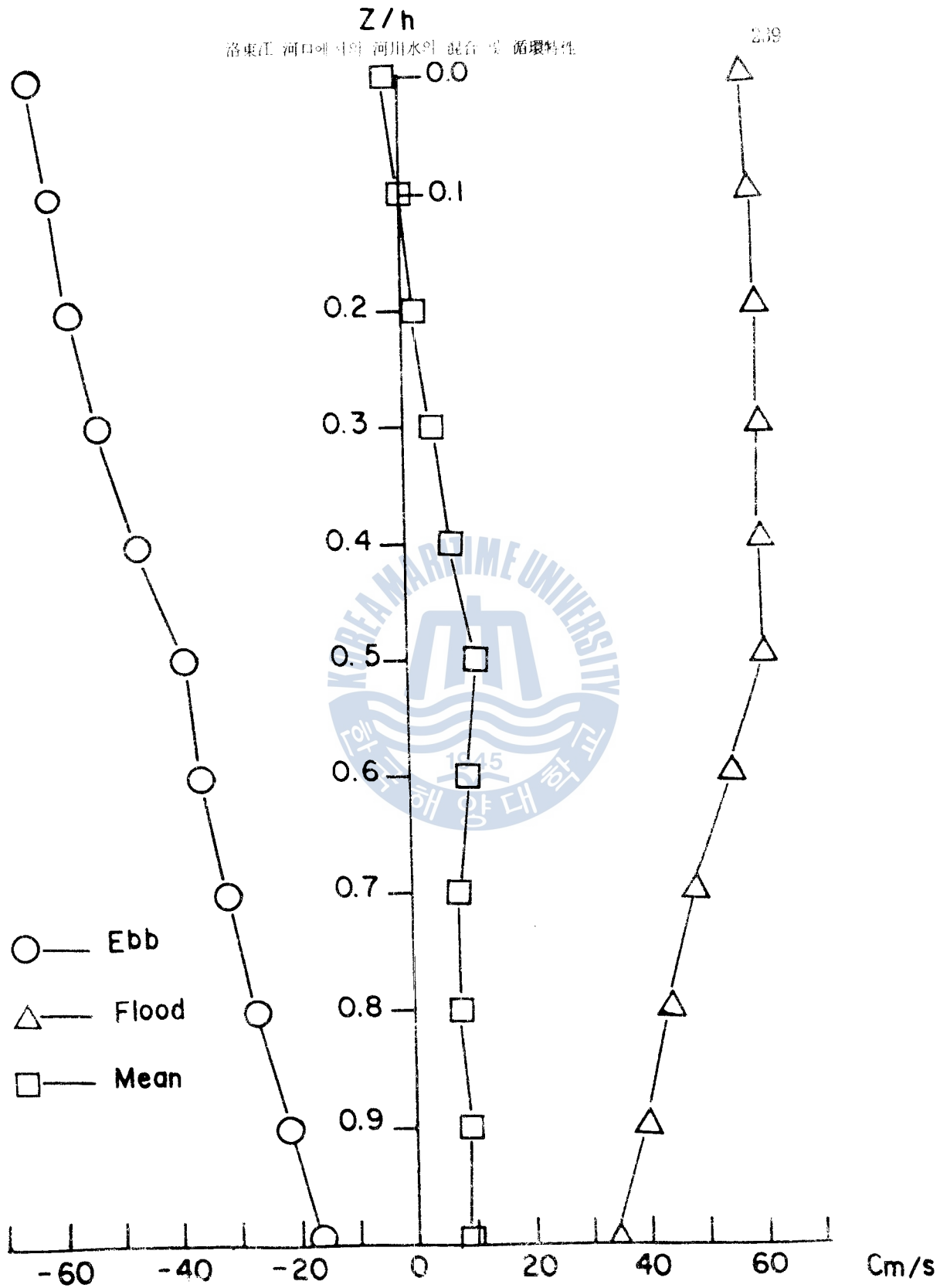


그림 18. A 에서의 유속 변칙 분포 (1984.3.31)

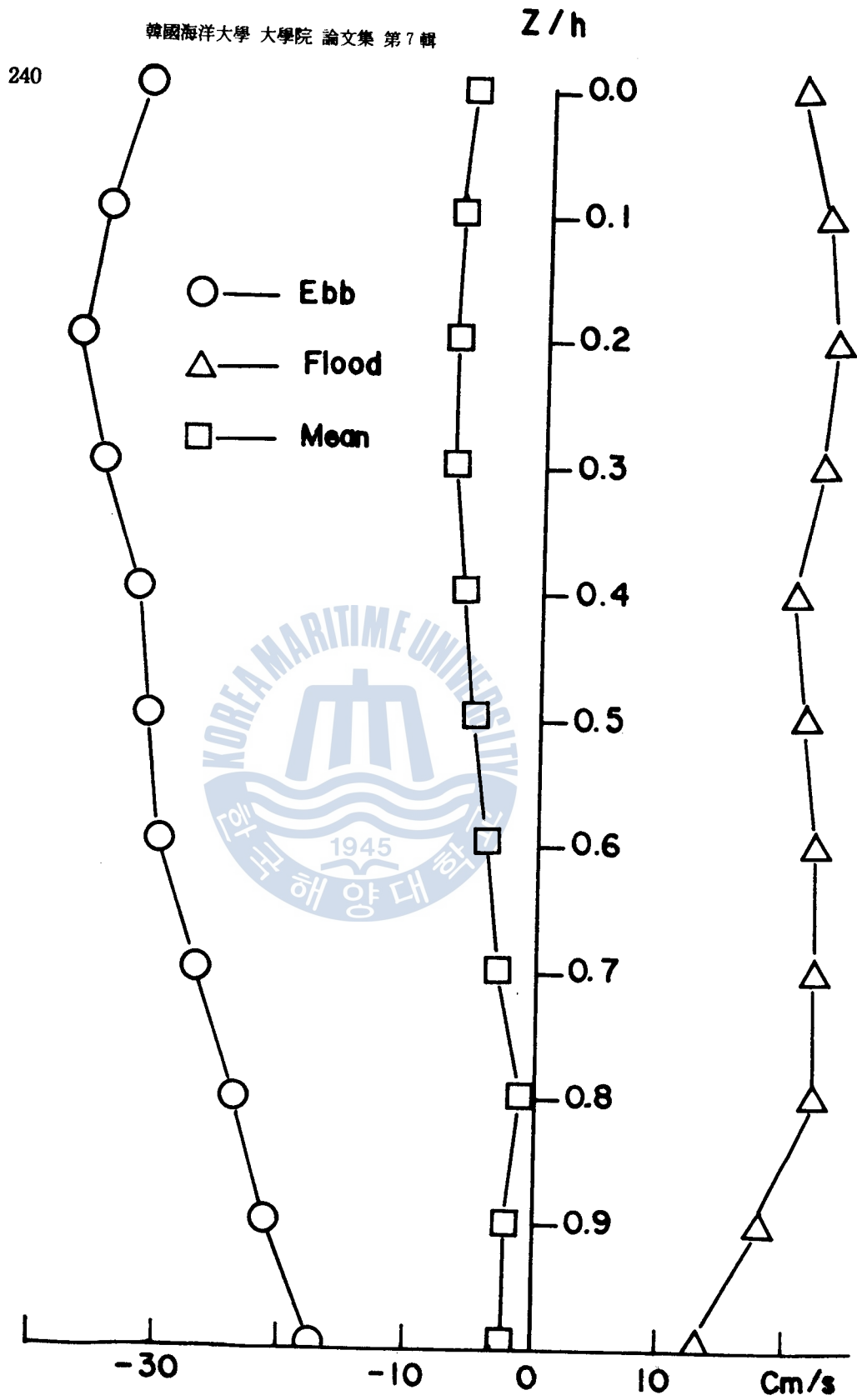


그림 19. A' 에서의 유속 연직 분포 (1984.3.30)

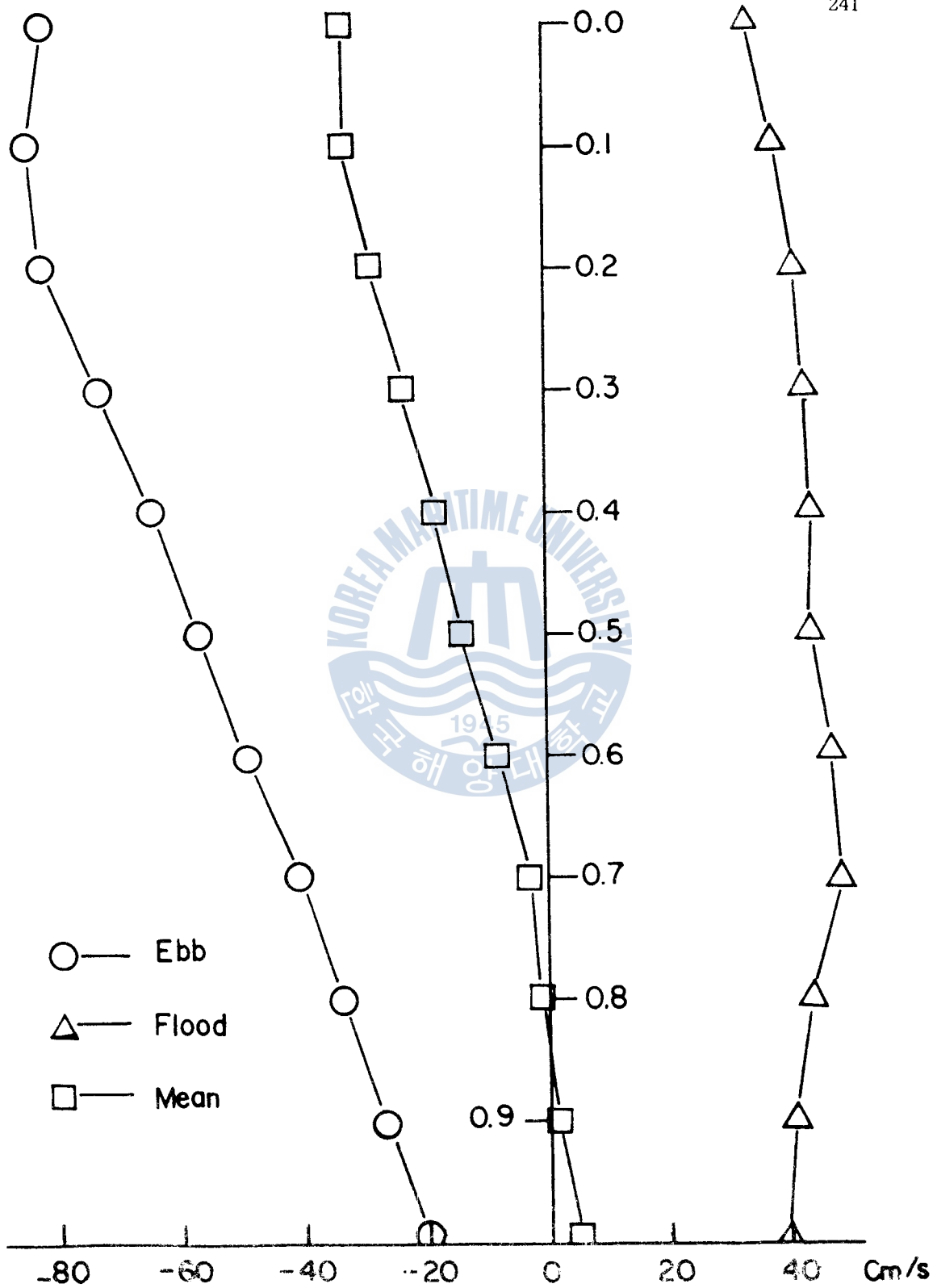


그림 20. C 에서의 유속 인직 분포 (1984. 8. 29)

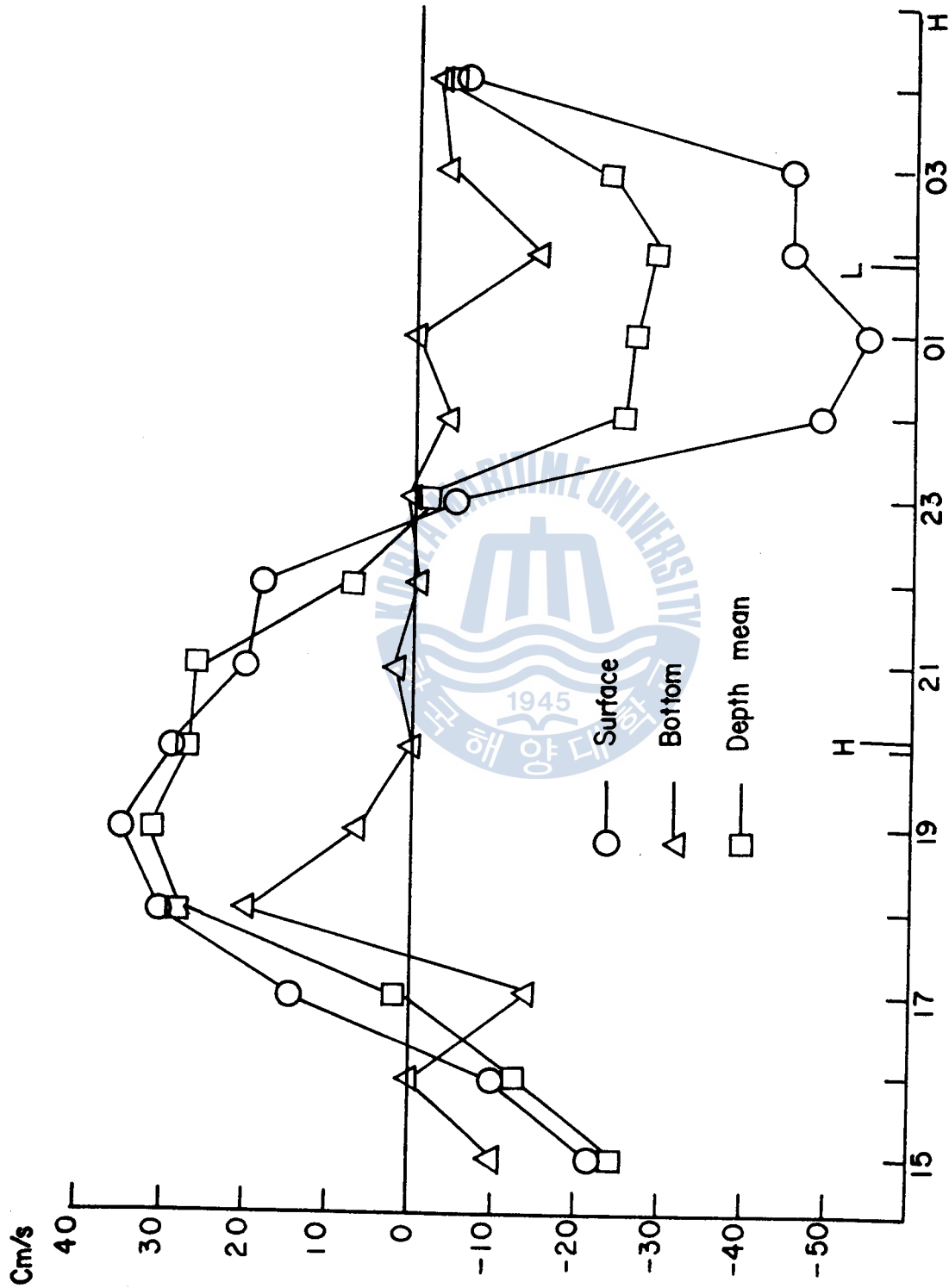


그림 21. P에서의 유속 시간 변화 (1984.3.30)

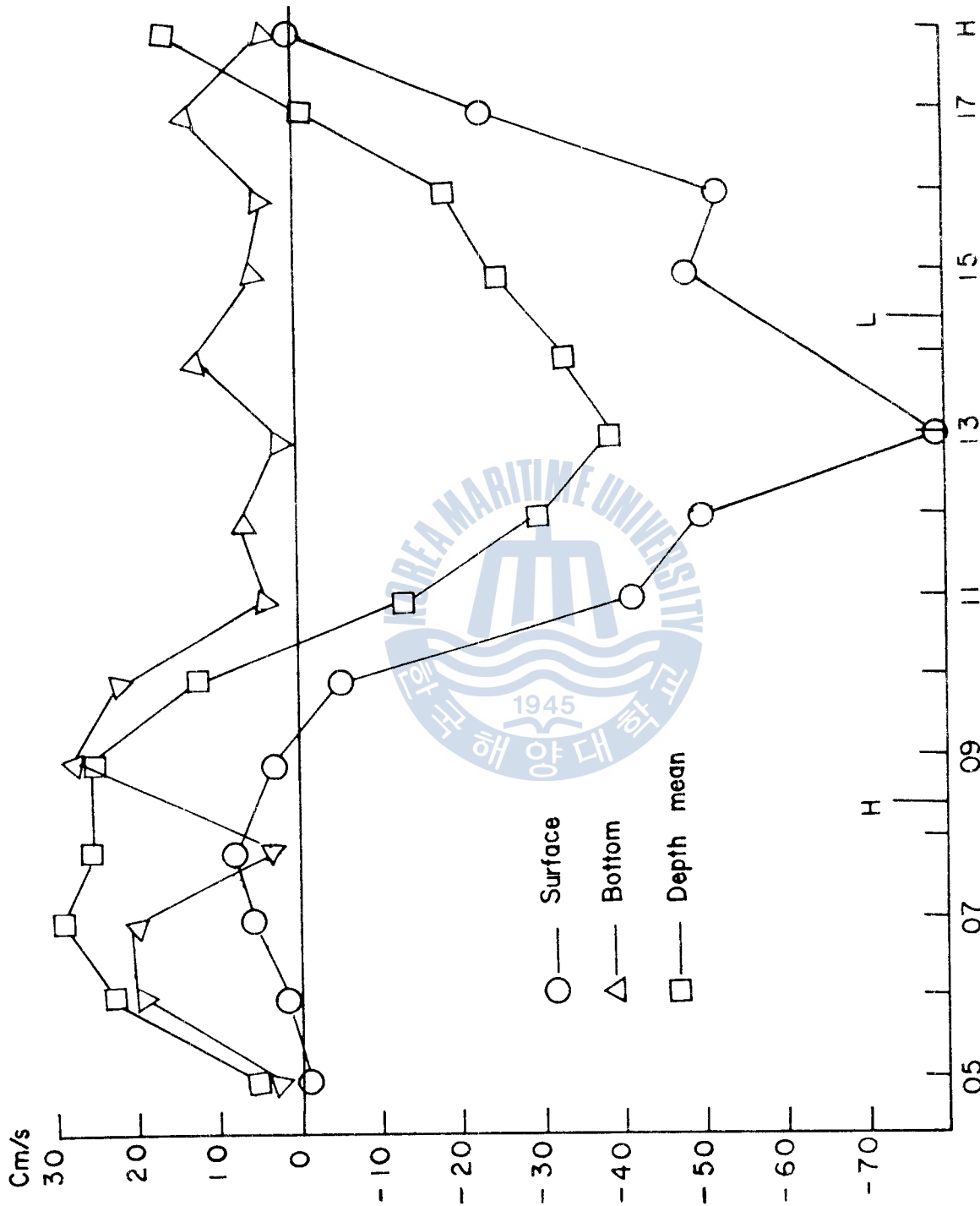


그림 22. N에서의 유속 시간 변화 (1984.3.31)

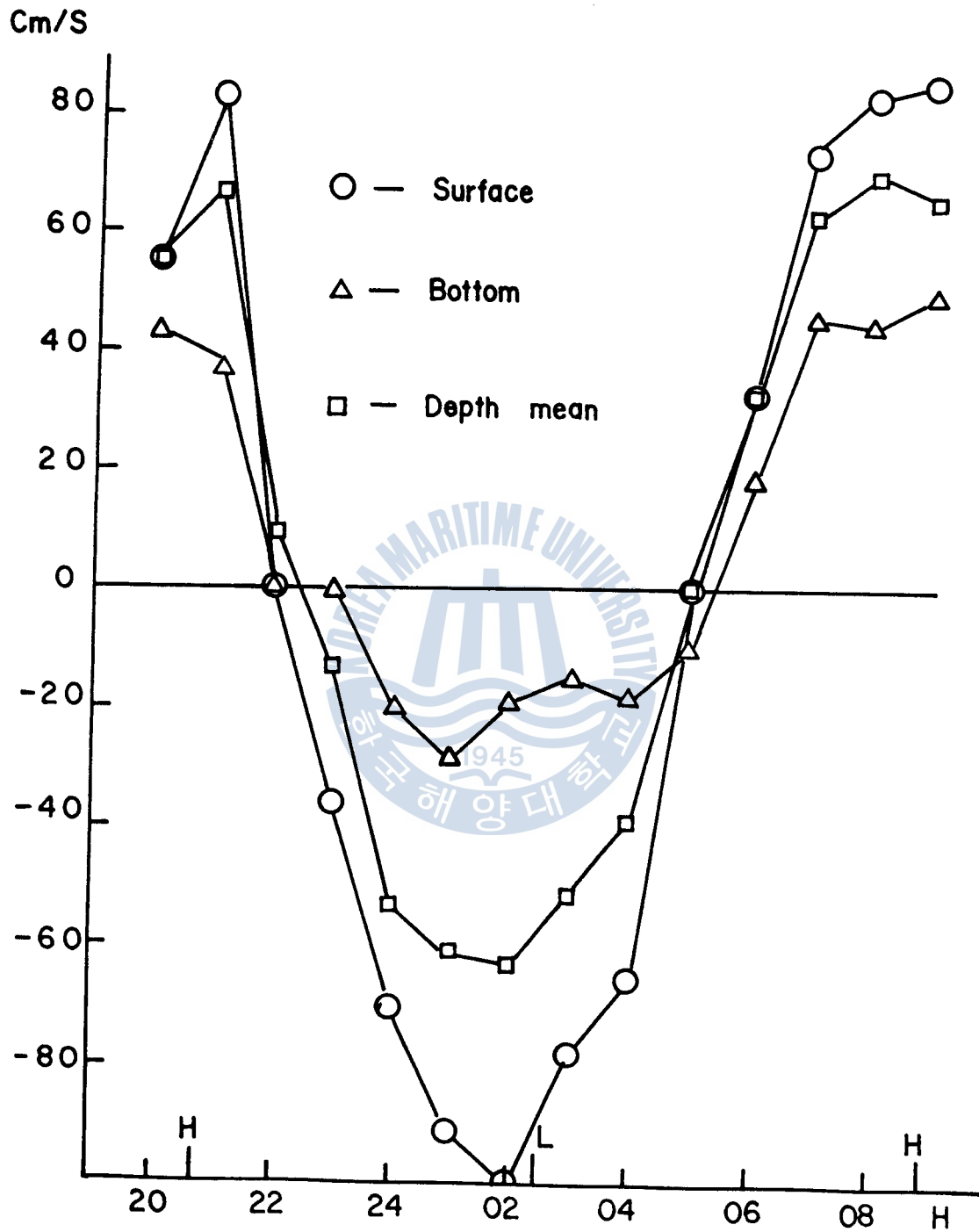


그림 23. A에서의 유속 시간 변화 (1984.3.31)

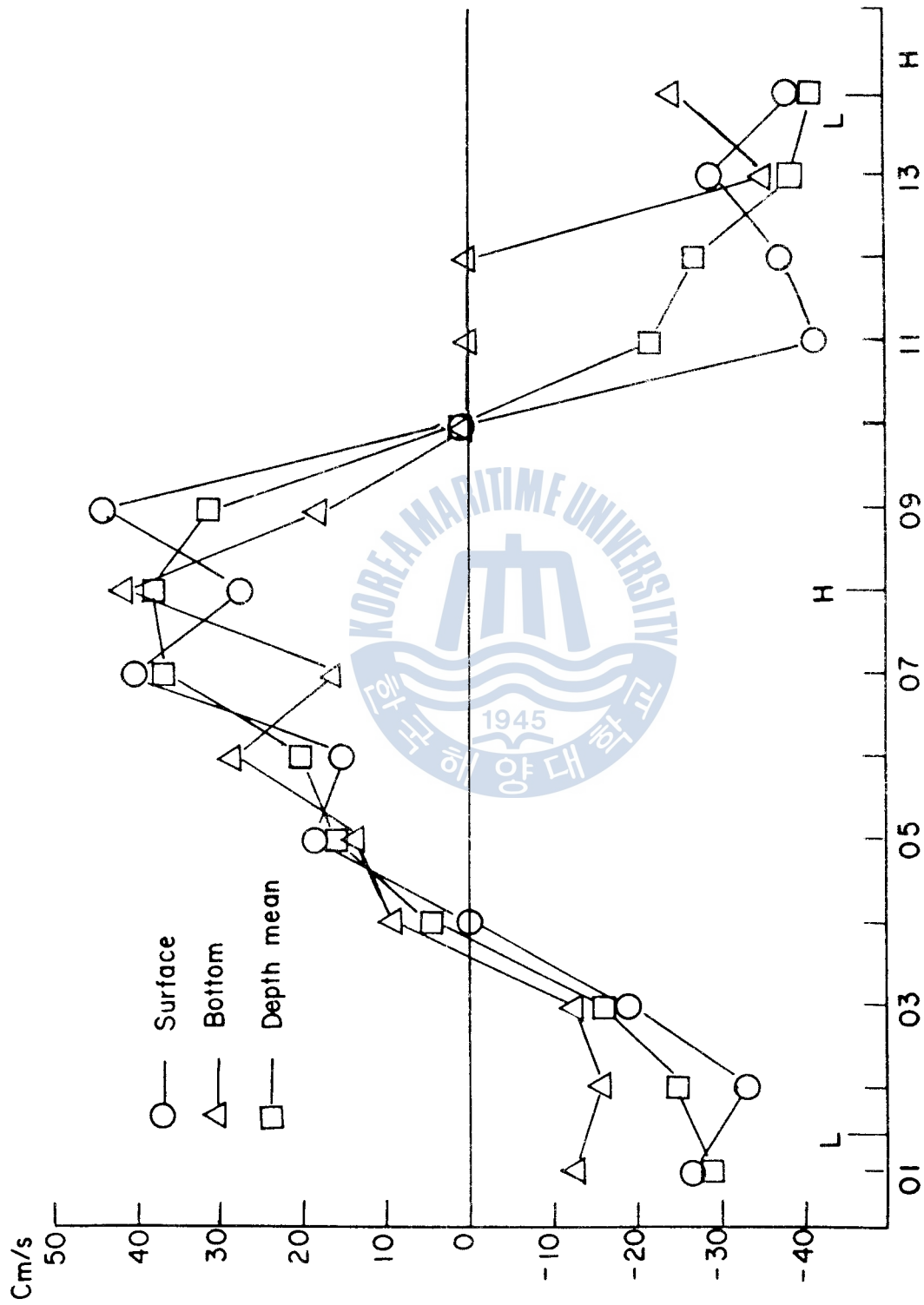
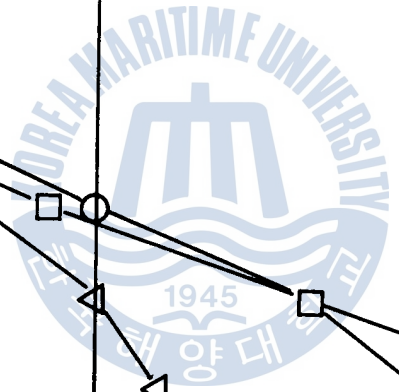
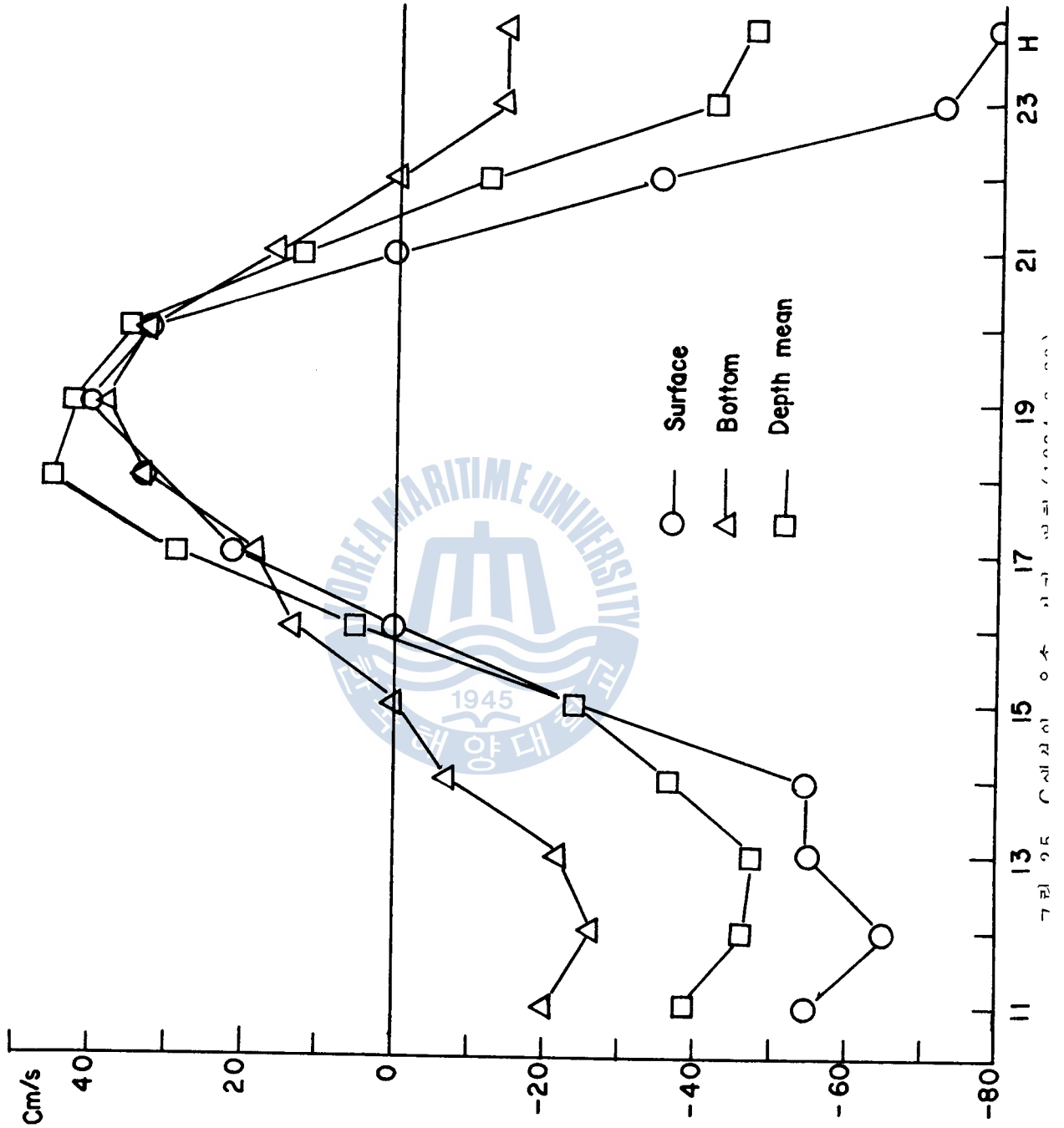


그림 24. A'에서의 유속 시간 변화 (1983.3.30)



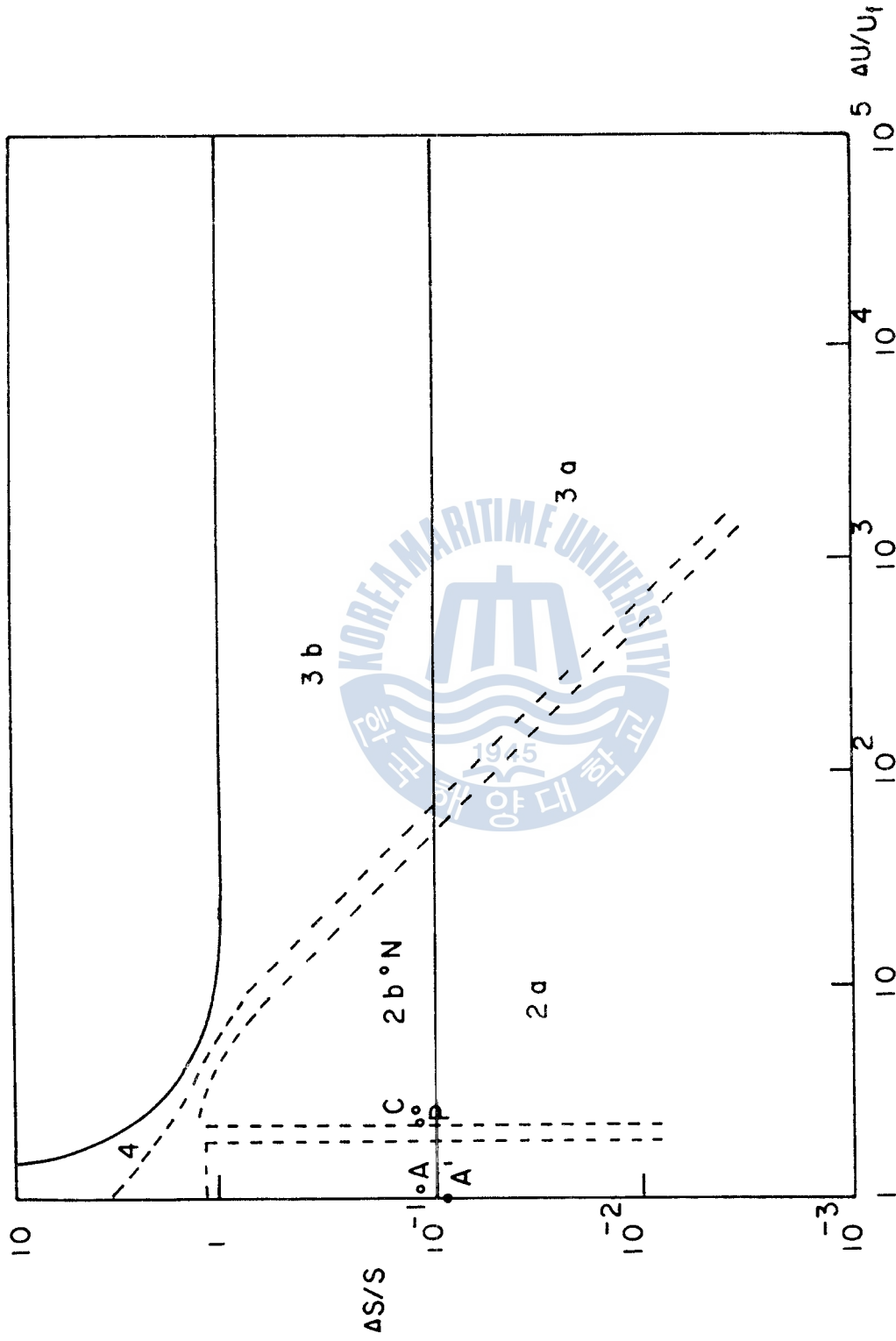


그림 26. Estuary 분류도

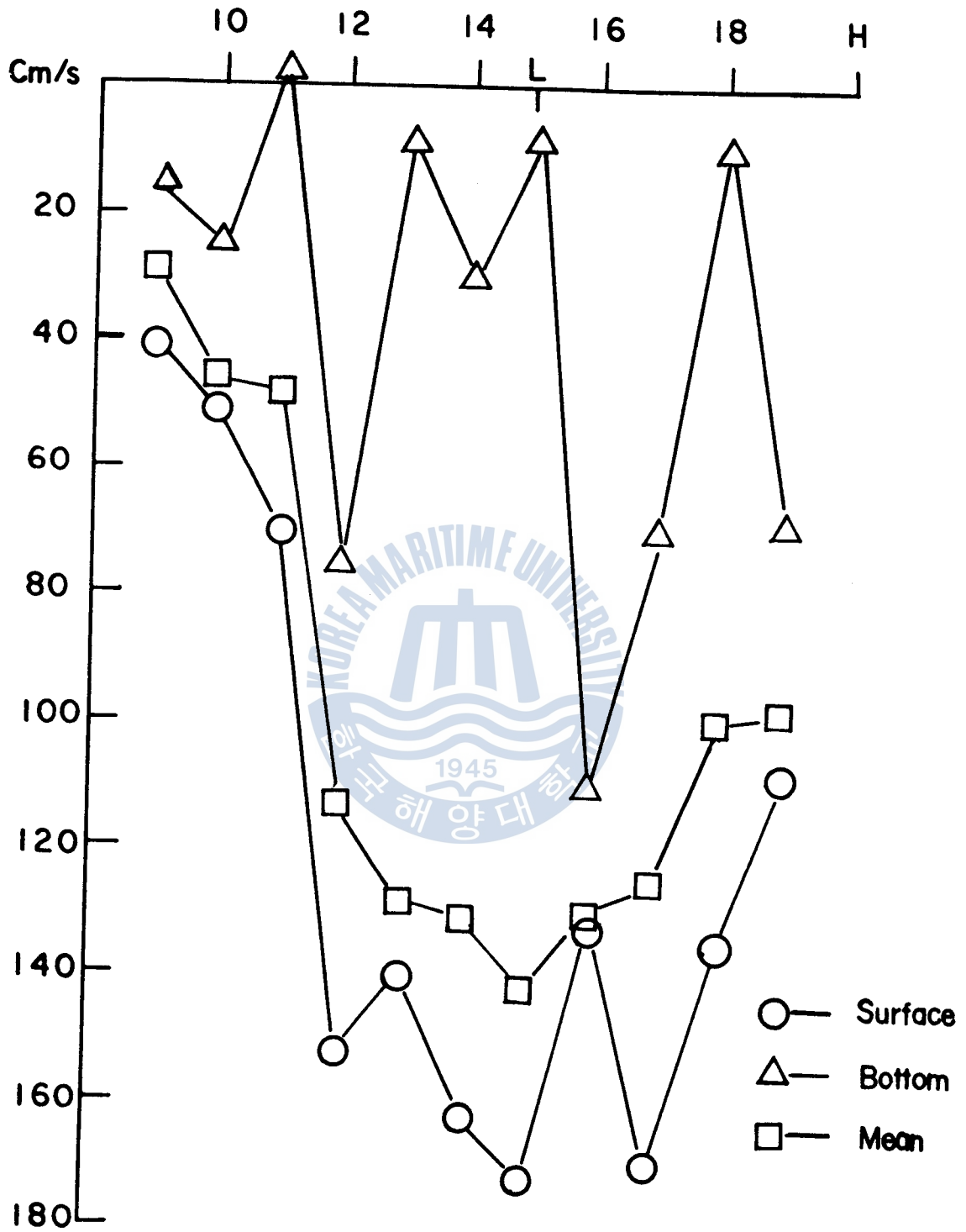


그림 27. A에서의 홍수기의 유속 시간 변화 (1984.8.27)

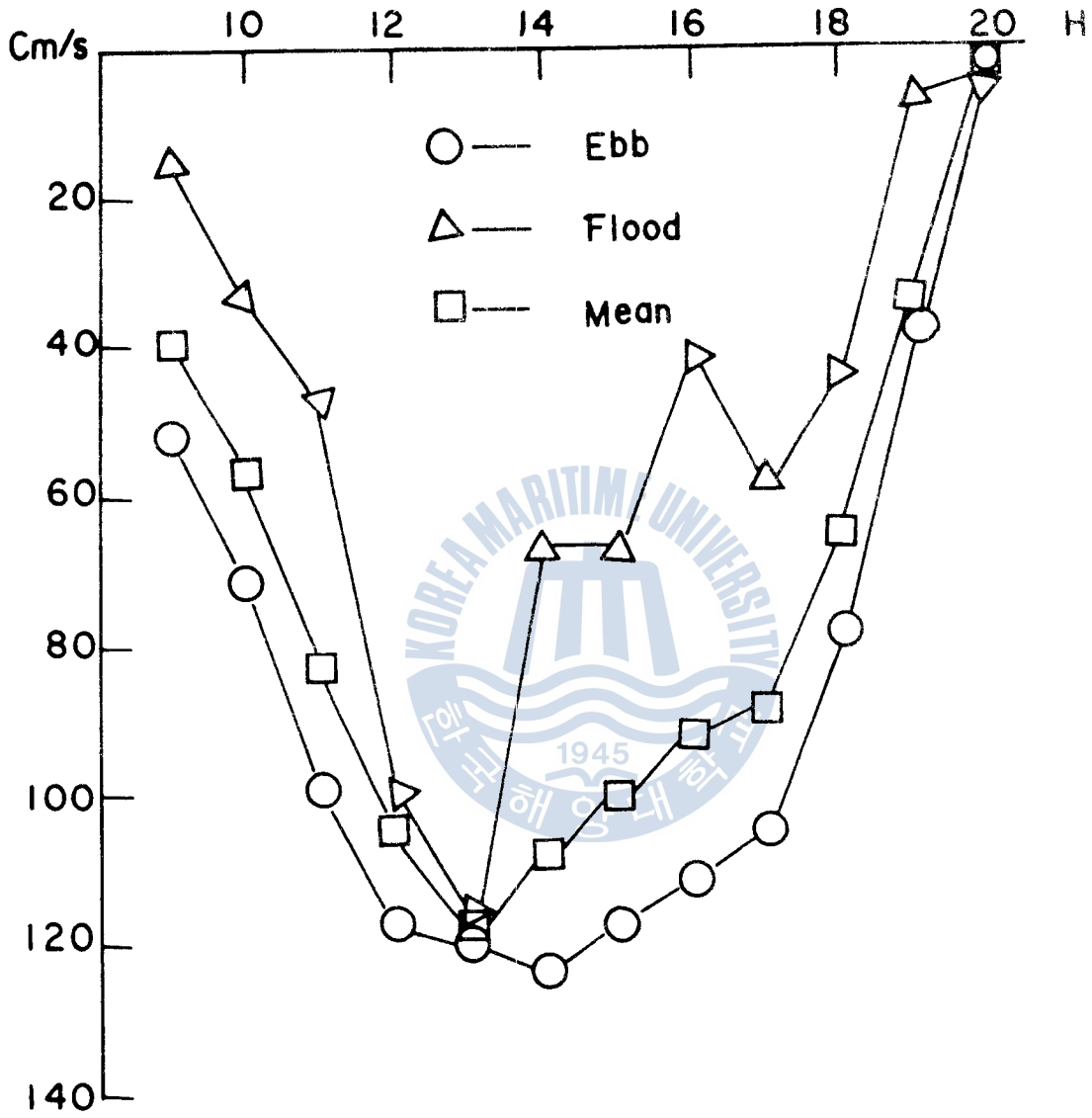


그림 28. C에서의 홍수기의 유속 시간 변화 (1984.8.27)

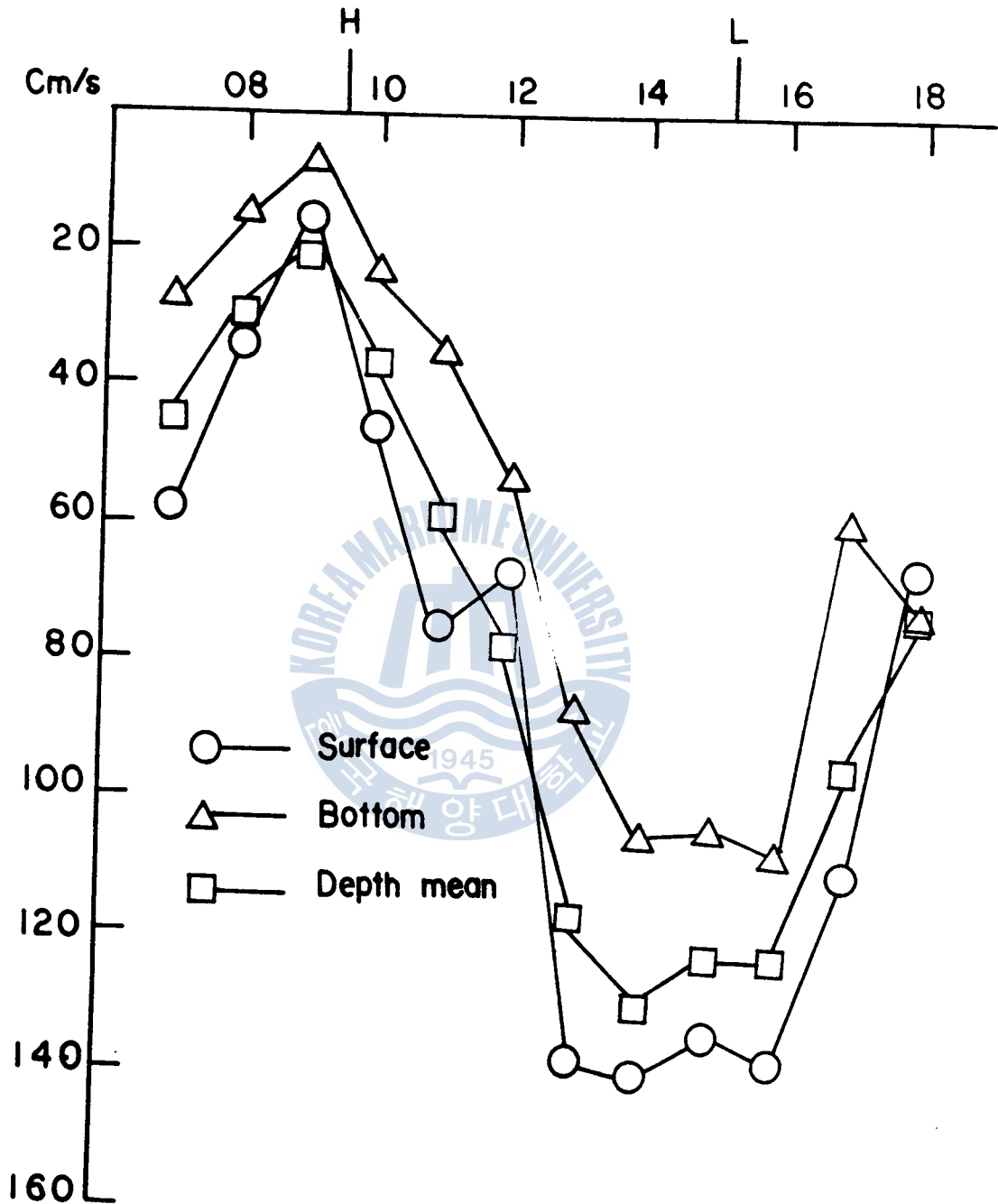


그림 29. D에서의 홍수기의 유속 시간 변화 (1984.8.28)