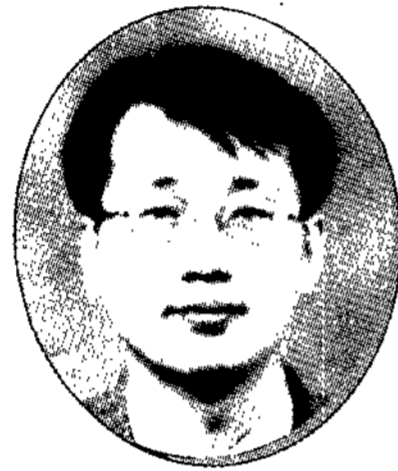


다중빔 수심측량을 이용한 방파제 피해조사에 관한 연구



박형근
(주)지오맥스 해양사업본부
(webearth@naver.com)



하희상
(주)지오맥스
(hsha@geomax.co.kr)



김동문
남서울대학교 지리정보학과 교수
(david@nsu.ac.kr)



양인태
강원대학교 토목공학과 교수
(intae@kangwon.ac.kr)

1. 서론

항만공사현장에서는 시공 중에 태풍 및 파랑에 의하여 심각한 피해를 입고 있다. 장기간에 걸쳐서 공사하는 항만공사의 여건상 수시로 변하는 해상의 날씨 및 천재지변으로 인한 손해를 피할 수 없으며 이에 따라 항만 및 해양공사에 대한 공사 중의 위험도는 날로 점차 증가하는 추세이다. 대형시공사들은 공사 중에 발생할 수 있는 피해를 감안하여 공사보험을 가입하고 있는 실정이나 정작 피해가 발생하였을 경우 그 피해물량에 대한 합당한 증빙자료를 제출하기에는 많은 어려움이 발생하는 실정이다.

많은 피해를 보았음에도 불구하고 현실적으로 수

중에서 발생하는 피해현황을 파악하기에는 많은 어려움이 따른다. 이에 따라 시공사와 보험사간의 이견이 점차 많아지고 있다.

본 연구에서는 실제 피해가 발생한 방파제 공사현장에서 방파제에 대한 피해현황을 정량적으로 파악하여 이에 대한 체계적인 근거자료를 확보하고자 하였으며, 이러한 공사현장의 특성상 개략적인 피해조사가 아닌 정확하고 정밀한 조사현황을 다중빔 수심측량을 이용하여 피해현황에 대한 물량산정을 효과적으로 산출하고자 하였다. 최근들어 다중빔 수심측량은 준설 완공시 최종적으로 수행하는 측량으로 정착되어 가고 있으며, 한국에서 또한 그 사용빈도가 점차 많아지고 있는 추세이다.

2. 다중빔 음향측심 시스템의 원리

다중빔 음향측심을 사용하기 위한 시스템은 복수 개의 소나 트랜듀서 배열로 구성되어 있다. 각 소나 배열의 위상차(Phase)를 조절하여, 지향 각을 가지는 빔을 생성할 수 있다. 통상적으로, 음파를 발사할 때는 현 방향으로 넓고, 선수 방향으로는 빔 폭이 좁은 부채꼴 모양의 빔을 생성하여 발사한다.(양인태, 2000) 수신할 때에는 그와 직교되는 방향으로 여러 개의 빔을 수신하여, 두 빔의 직교되는 시점을 관측하여 경사거리를 측정하게 된다(박요섭, 2004).

Sonar Head의 송신기에서 발사된 음파의 전달 경로를 직선으로 가정하면 음파가 수중에서 사각으로 진행하여 측정된 빔의 위치는 Sonar Head의 직하방 축으로부터 특정빔의 빔 각도(r_i)와 중앙부에서 해저면까지 경사거리(S_i)로 표현될 수 있으며, 경사거리는 음향신호의 왕복전달 시간과 고정 음속도를 곱해서 얻을 수 있다.(유복모, 1986)

그림 1에서 Sonar Head를 기준으로 한 빔의 위치는 식 (1)과 같이 소나벡터로 표현할 수 있다.(김연수, 2005)

$$S_i = \frac{1}{2} n \cdot V \cdot T_i,$$

$$B_i = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -S_i \cdot \sin(r_i) \\ -S_i \cdot \cos(r_i) \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서,

V: 음속도(1,500m/sec)

T: 도달시간

n: 경로수

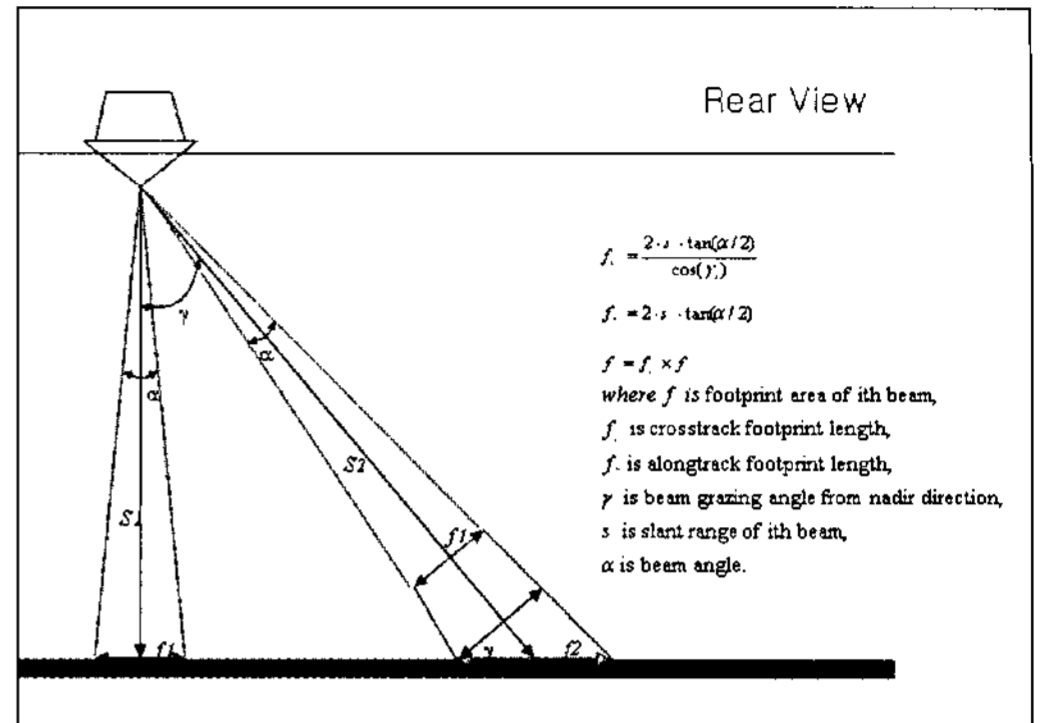


그림 1. 빔 지향각과 경사거리 소나벡터

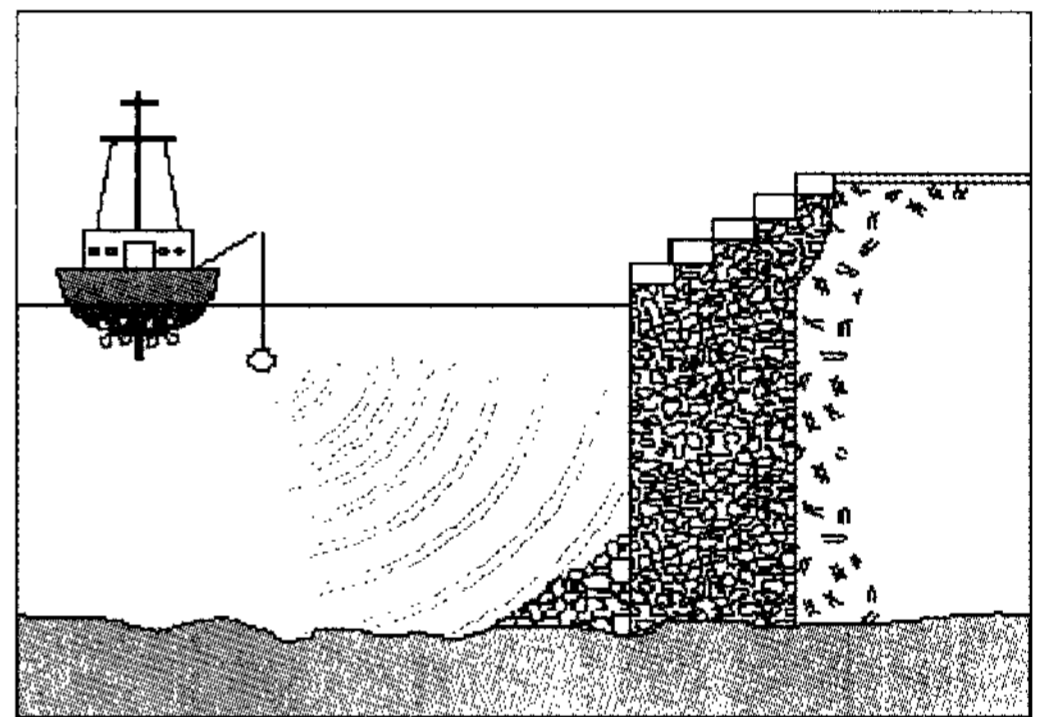


그림 2. 다중빔 조사 모식도(Tilt 45°)

이러한 원리가 적용된 시스템의 사양은 표 1과 같다.

표 1. 다중빔 음향측심의 제원

모 델	Seabat 9001
제 작 사	미국 Reson 사
전 력 요구사항	24V DC, 2 Amps max
발 진 주 파 수	455 KHz
분 해 능	5 cm
전 송 빔 폭	수평 90°/수직 1.5°
수 신 빔 폭	수평 1.5°/ 수직 15°
빔 수	60
탐 사 심 도	200 m

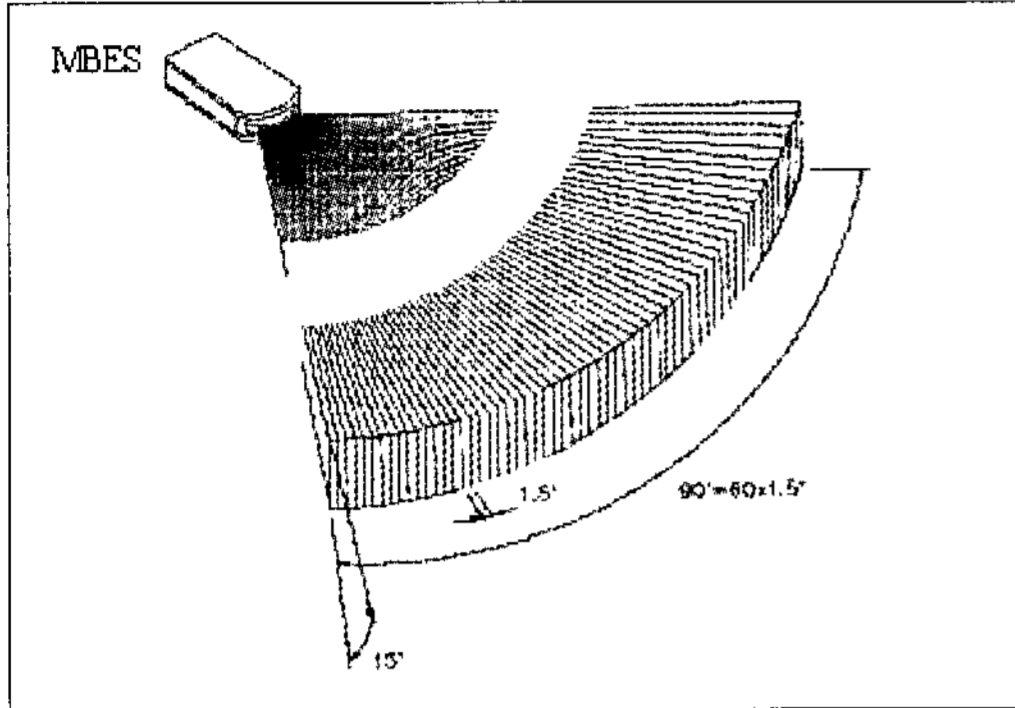


그림 3. 다중빔 수신각도, 90°

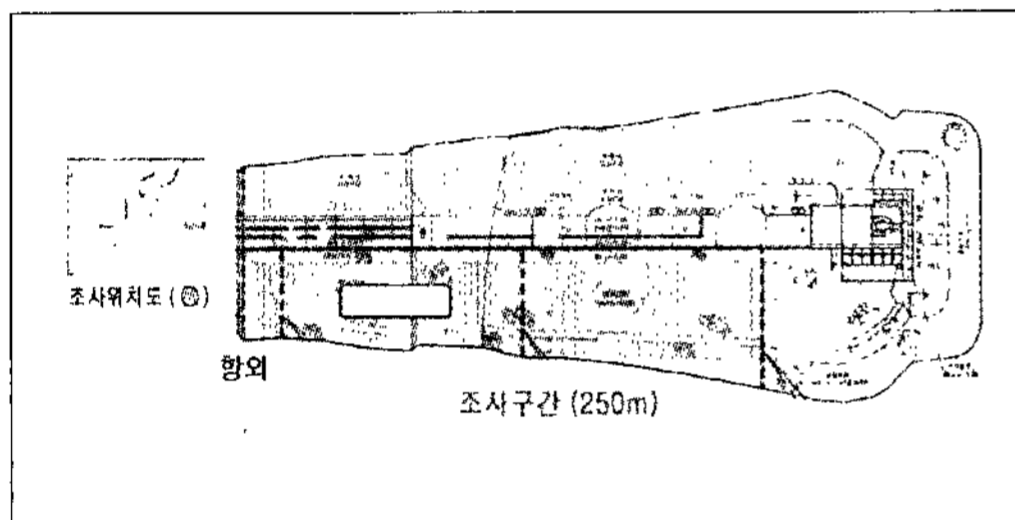


그림 4. 조사구역도

측심 정확도는 갯정수심의 정확도를 의미한다. 측심의 정확도를 규정하기 위하여, 최종 갯정수심 생성과정에 포함된 개별 오차를 정량화 할 필요가 없다. 개별 오차들이 상호 결합되어 최종적인 총 확산

오차를 구성하게 된다.

표 2에서는 해역의 항해중요도에 따라 측량성과의 정확도를 4등급으로 나누고 이에 따른 적절한 정확도 기준을 제시하고 있다. 정확도의 기준은 등급에 따른 상수항과 대상 해역의 평균수심에 따른 변수로 이루어져 있다. 수심 40m의 기준깊이는 선박의 최대 흘수 깊이를 감안한 깊이이다.

3. 방파제 피해조사

본 연구의 대상위치는 00지역 00 방파제에 항외 구역 중에 CH.14에서 CH.28까지의 250m 구간이다(그림 4).

본 연구는 방파제 피해를 다중빔 음향측심 센서를 0도, 45도 각도로 각각 수행하여 수중의 시공 상태 및 피해물량을 산정하기위해 수행되었으며 특히, 평균해수면상의 현황을 파악하기 위해 45도 각도로 센서를 회전하여 사운딩을 실시하였다. 그림 5는 다중빔 수심측량의 조사 모식도를 나타낸 것이다.

그림 6에서 보여주는 현장사진에서 파랑에 의해

표 2. 수심측량을 위한 IHO규정별 구역 구분

	특등구역	제1등	제2등	제3등
구역 예	항만, 정박지	외항수로 및 진입수로	~ 200m 수심구역까지	제2구역까지의 제외구역
수평 정밀도(98%)	2m	5m + 수심 5%	20m + 수심 5%	150m + 수심 5%
수심 정밀도(95%)	$\pm \sqrt{a^2+b \cdot d}$ a=0.25m b=0.0075	$\pm \sqrt{a^2+b \cdot d}$ a=0.5m b=0.013	$\pm \sqrt{a^2+b \cdot d}$ a=1.0m b=0.023	제2구역과 동일
100%해저면 조사	강제조항	특수목적의 지정구역	선택구역	-
공간 해상도	1m 미만	1~2m (수심 40m까지 그이하에서는 10%)	제1구역과 동일	-
측선 간격	100% 해저면 조사	3×평균수심 또는 25m 피치	3~4× 평균수심 또는 200m 피치	4 × 평균수심

* 여기서, a는 오차상수(각 수심오차 상수의 합), b, d는 수심에 따른 오차(수심별 오차의 합), b는 수심에 따른 오차인수, d는 수심이다.

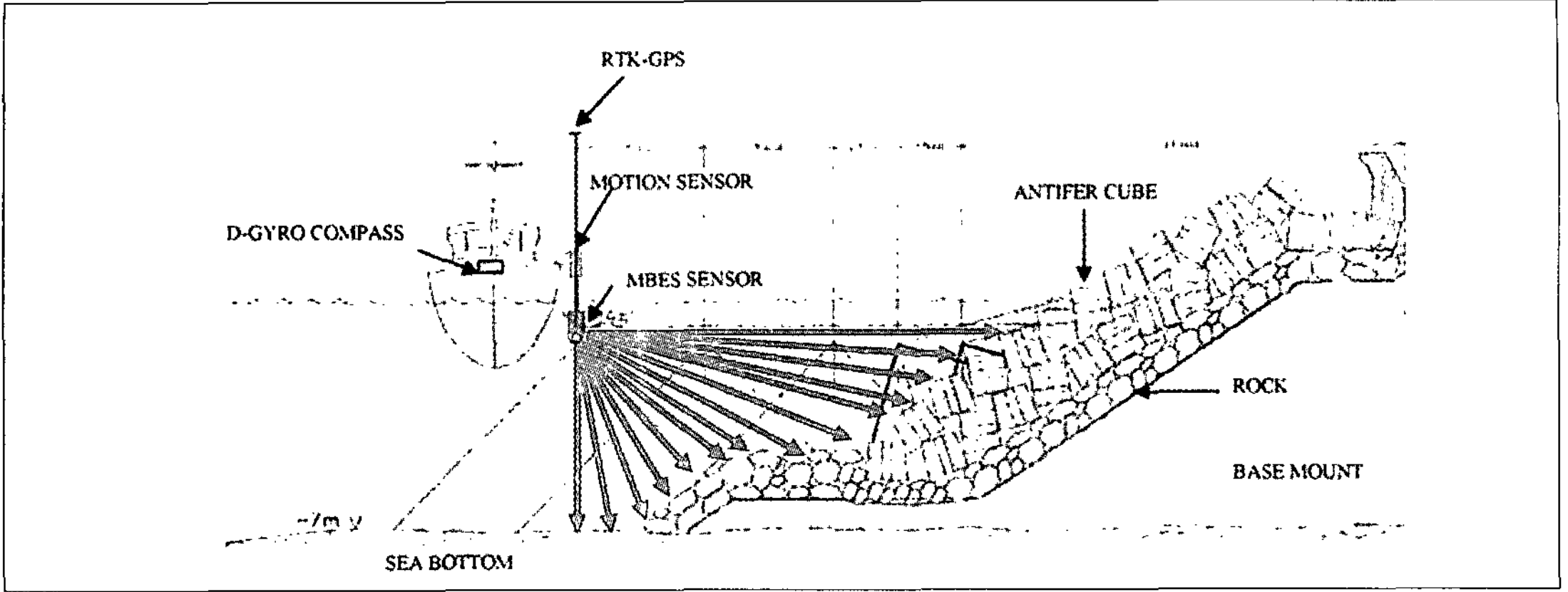


그림 5. 조사모식도

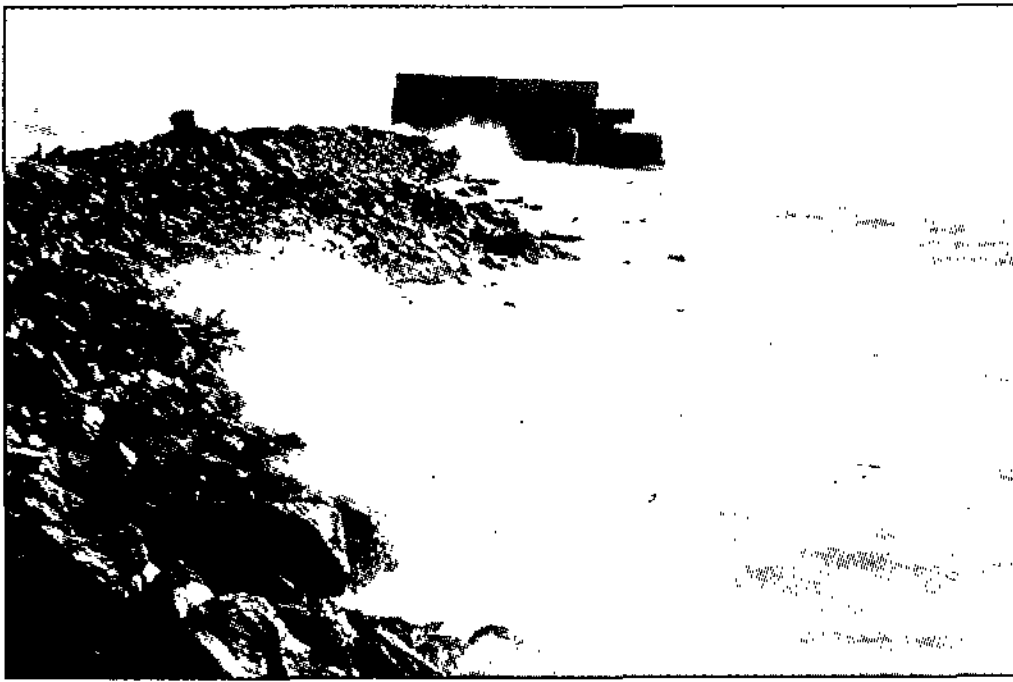


그림 6. 피해사진

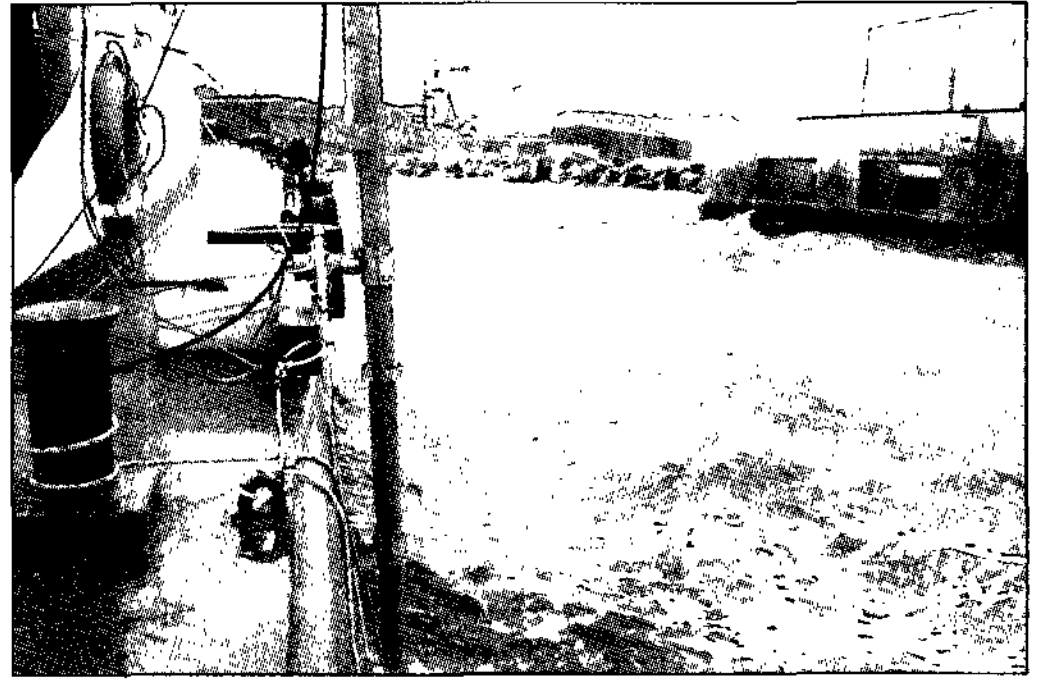


그림 7. 조사장면(항외 CH28지점)

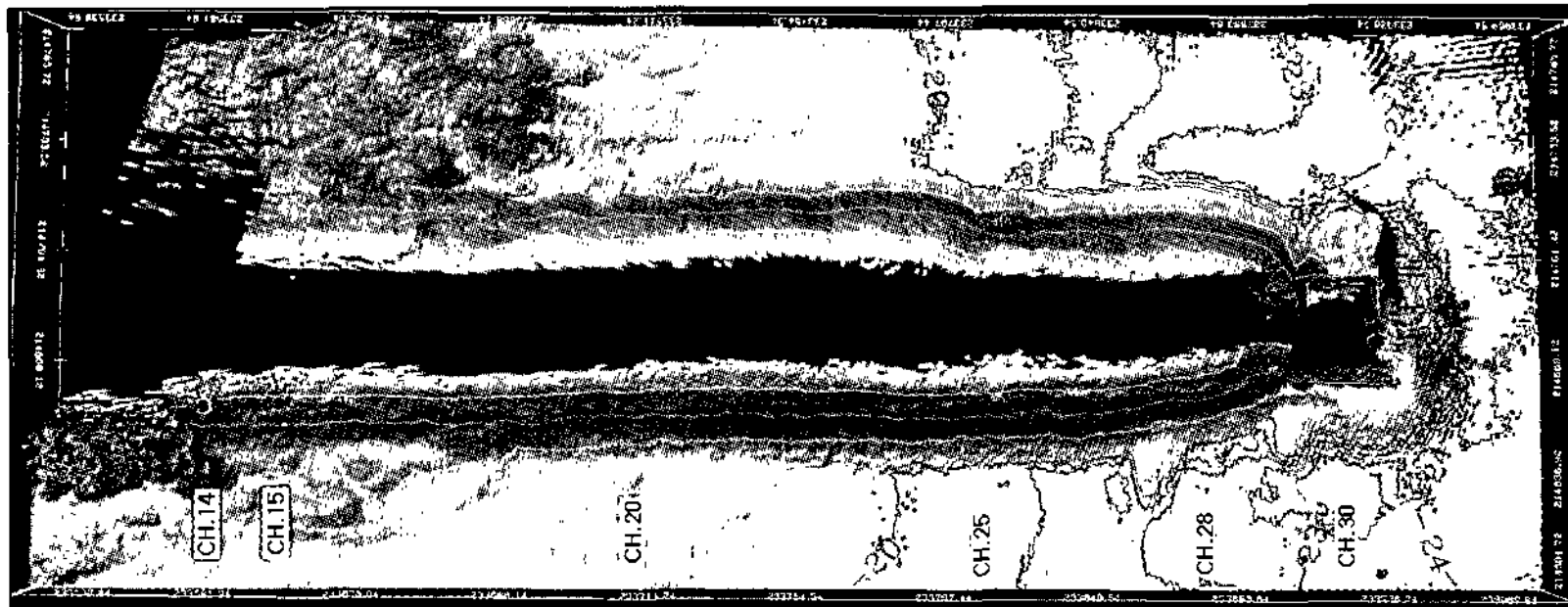


그림 8. 3차원 색채수심도

사석이 대량 유실되었으며 이에 따라 단면별 깎긴 부분(Cut)과 쌓이는 부분(Fill)이 광범위하게 분포된 상황이다. 그림 7은 조사장면을 그림으로 나타낸 것이다.

일부 사석은 파랑에 의해 피해사석이 항내부분에 존재할 가능성을 두고 항내와 항외구간에 대하여 광역적으로 조사되었다.

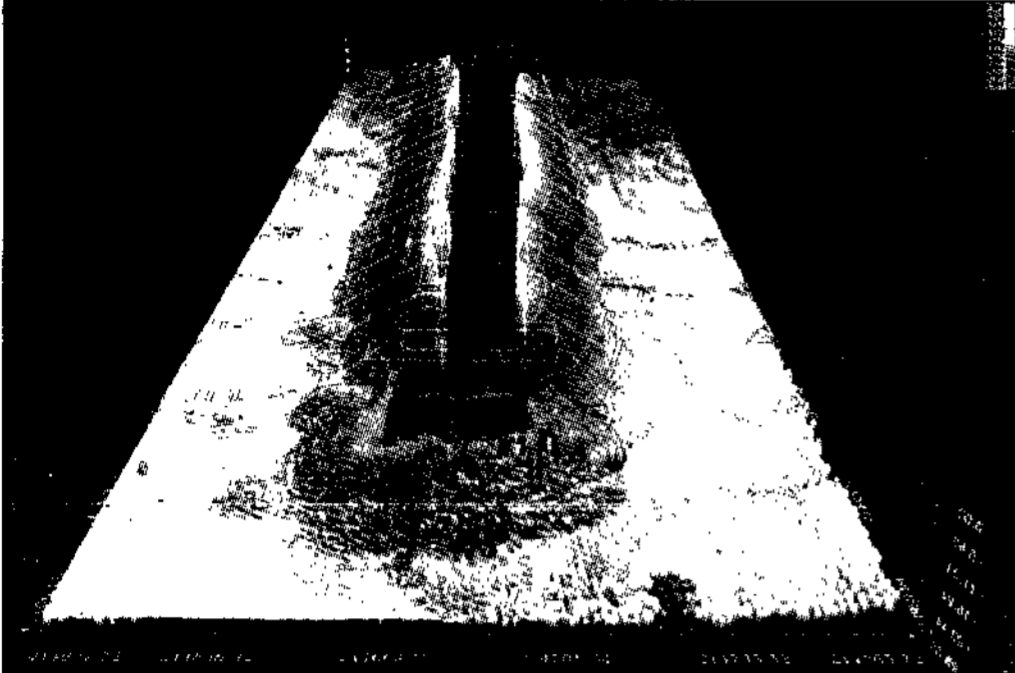


그림 9. 3차원 시공계획도와 색채수심도



그림 10. 3차원 피해 현황도

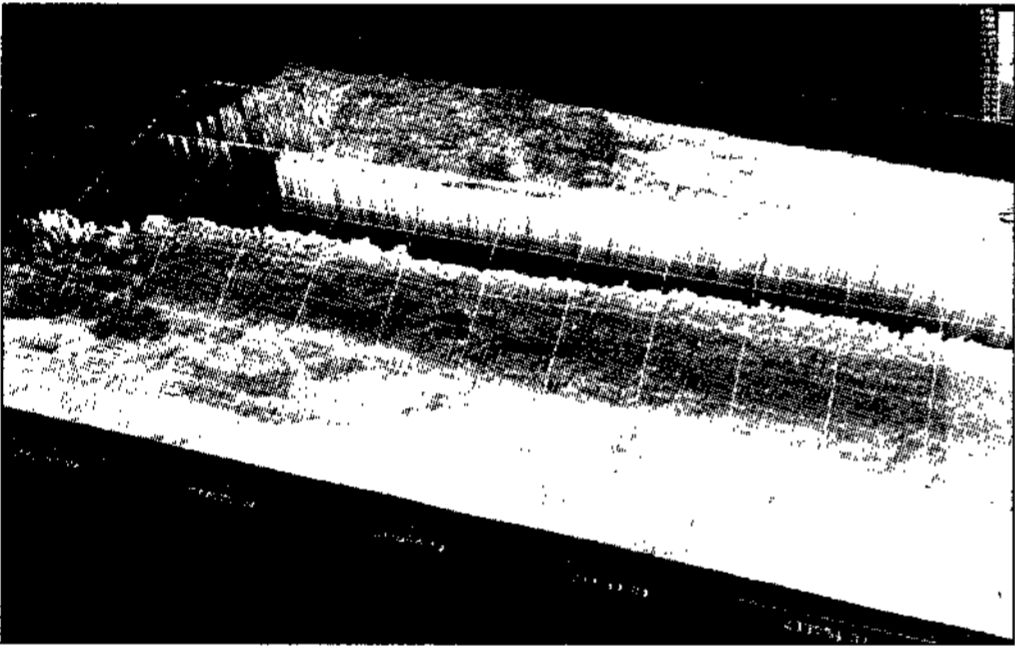


그림 11. 3차원 피해단면도(CH.13~CH.23)

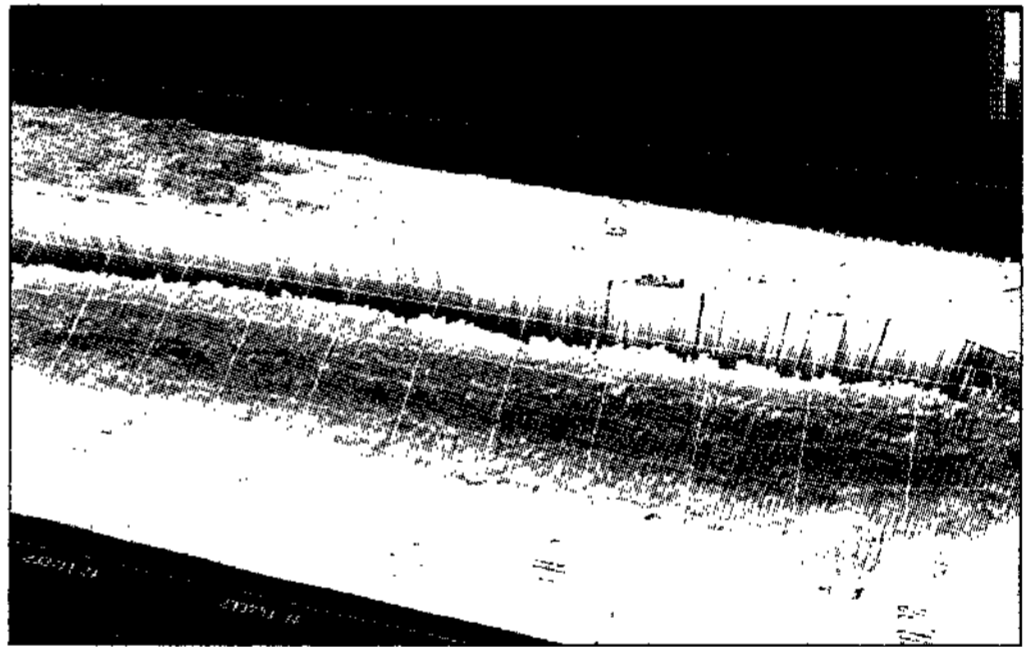


그림 12. 3차원 피해단면도(CH.19~CH.29)

그림 8은 수중구조물에 대한 수심별 색채도에 의하여 구현된 평균해수면하의 현황도이다. 본 방파제의 경우 소파블록이 거치하기 이전 사석 고르기 작업 중에 피해가 발생한 경우로 사석의 유실이 기시공과 비교하여 차이가 발생하였으며, 주로 항외의 주변에 고루 피해가 발생한 것으로 파악이 되었다. 그림 8에서 보듯이 CH.15 이전은 기존 암초구간으로 파악이 되며, 이는 항내와 항외가 같은 등고선인 15m에서 부터 시작됨을 알 수가 있다. 또한 CH.14 이전은 소파블록이 기 시공된 상태를 보여주고 있으며 이에 따라 피해단면 물량산정은 CH.14 이후부터 파악토록 하였다. 소파블록의 경우 형상의 복잡화로 인해 난반사에 의한 굴절이 많이 발생하여 그 형상을 구현하기가 어려웠으나 차후 연구에서는 3D-

TIN기법을 이용하여 구현할 예정이다.

그림 9에서는 왼쪽으로 항외이며 오른쪽으로는 항내로 그림에서 보는 바와 같이 항외의 두부 전으로 피해가 나타나고 있다. 두부는 임시적으로 콘크리트 블록을 강제 거치한 상태이다. 수심은 두부 전면이 최대 24m로 특히 세굴로 추정되는 구간이 발견되었다. 흰색으로 표시된 선은 공사계획도에 의거하여 3차원 DXF로 만들어 3차원 색채수심도에 중첩함으로써 공사구간 및 기 시공구간에 대한 비교를 용이토록 하였다.

본 연구에서는 사석에 대한 다중빔 패턴에 중점을 두어 연구하였고, 아날로그 음향패턴을 일일이 분석하여 강도별 필터링을 통해서 자료처리를 수행하였으며, 정확하고 정밀한 사석의 형상화를 구현하도록

표 3. 작업일보에 따른 물량피해 산정표(No.16)

번호	수 량			번호	수 량			번호	수 량		
	전체수량	기시공분	피해물량		전체수량	기시공분	피해물량		전체수량	기시공분	피해물량
1	-	-	-	15	-	-	-	29	-	-	-
2	-	-	-	16	-	-	-	30	-	-	-
3	599.82	587.02	110.08	17	9.12	9.12	9.12	31	15.50	-	-
4	83.22	83.22	11.33	18	15.53	15.53	15.53	32	9.12	-	-
5	8.69	8.69	-	19	8.02	8.02	8.02	33	23.55	-	-
6	7.99	7.99	5.09	20	-	-	-	34	-	-	-
7	19.42	19.42	9.71	21	-	-	-	35	-	-	-
8	9.69	9.69	4.46	22	-	-	-	36	-	-	-
9	-	-	-	23	-	-	-	37	-	-	-
10	6.52	-	-	24	6.58	-	-	38	65.91	-	-
11	14.44	-	-	25	13.36	-	-	39	114.02	-	-
12	10.34	-	-	26	-	-	-				
13	11.56	10.06	7.82	27	11.28	-	-				
14	48.56	23.67	16.83	28	-	-	-				

노력하였다. 이로 인해 그림 10과 같은 3차원 피해 현황도를 작성할 수 있었다. 따라서, 수심 24m에서의 사석방파제의 전체적인 현황을 정량적으로 구현할 수 있게 되었으며, 이 자료를 근거로 하여 피해물량의 산정방향을 검토할 수 있게 되었다.

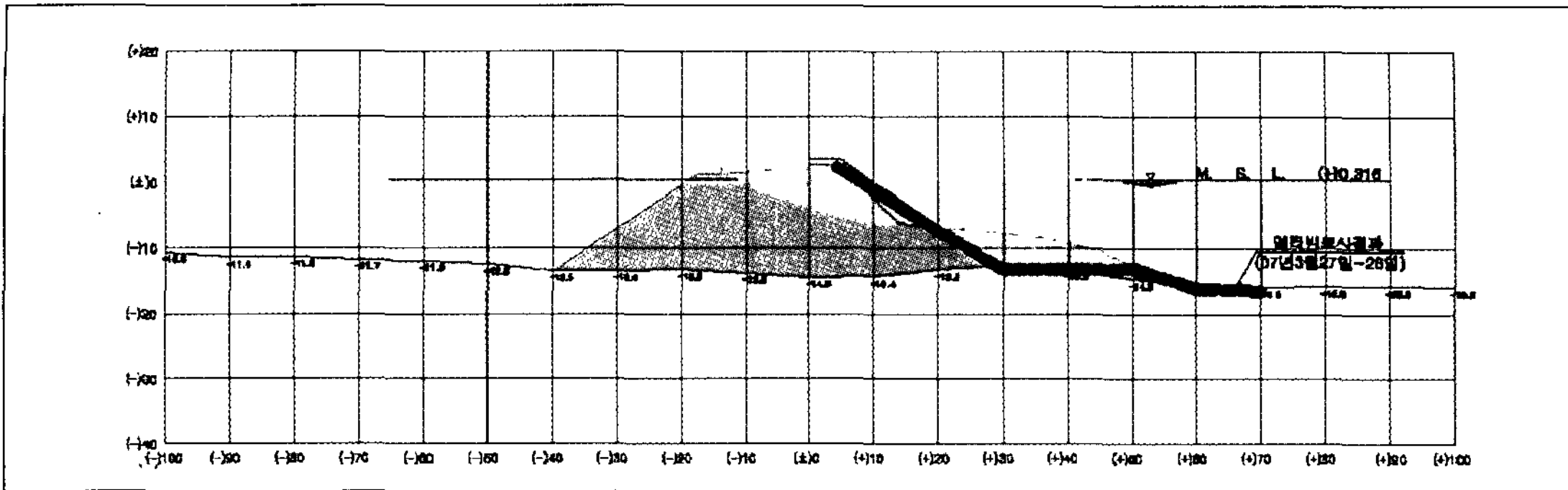
그림 10의 정밀피해 현황도에서는 왼쪽(항외)부분에 대해서 사석이 해저면으로 유실되어 있는 것으로 파악이 되었다. 그림에서 보는 바와 같이 CH.27과 CH.28의 각각의 단면에는 사석의 유실이 적게 나온 것으로 되어 있으나 CH.27.5의 경우엔 많은 사석이 해저면으로 내려와 있음을 쉽게 파악할 수 있다. 이에 따라 차후 피해물량 산출시 단면의 물량산정 너비를 피해현황과 상호 비교하여 유동적으로 산출토록 유도하였다.

4. 피해물량산정

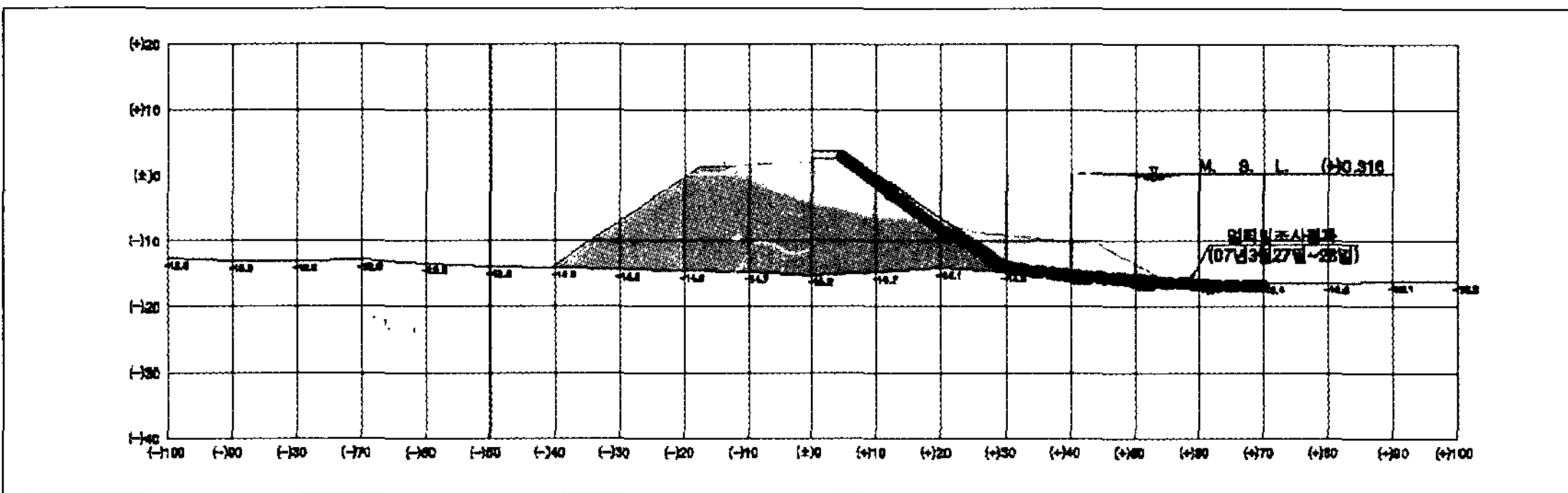
공사현장 특성상 당일의 정확한 측량물량을 산정하기란 상당한 어려움이 있다. 대부분의 공사현장의 경우 1개월 혹은 3개월 마다 측량을 실시하여 기성물량에 따른 청구서를 발주처에 제출하는 것으로 파악되고 있다. 하지만 갑작스러운 피해가 발생할 경우, 그 당일까지의 피해물량은 매일 작성되는 공사일지 및 작업일보에 근거하여 피해물량을 추정할 수밖에 없다. (해양수산부, 2005) 이러한 피해물량산정에 의거하여 보험사와 시공사 간의 분쟁이 발생할 소지가 많다(박근형, 2005).

표 3은 시공사에 의해 피해물량으로 추정되는 물량에 대한 산정표로서, 공사현장 상황에 의거하여 작업일보에 따른 물량피해를 산출한 것이다. 여기서 번호란 각 공정에 따른 피해범위를 유추한 것이다.

멀티빔 수심측량에 결과물인 그림 11과 그림 12의 피해단면도에서는 평균 해수면 이하(0m D.L.)에 대한 수중구조물에 대한 정확한 현황이 파악될 수 있



(a) No. 16



(b) No. 17

그림 13. 3차원 피해단면도

음을 알 수가 있다. 여기서 획득한 조사 자료(XYZ)를 이용하여 1차적으로 피해 예상단면을 파악하였다.

그림 13의 현황단면도는 피해가 발생한 후 시공사가 1차적으로 자체 복구하였다고 주장한 구역에 대한 멀티빔 수심측량 결과가 굵은 파선으로 표시되어 있다. 이러한 지역의 경우 시공사는 피해구역이라고 주장하더라도 피해가 있기 전의 기 현황과 변화가 없는 구간에 대해서는 보험사의 관점에서 볼 때 불필요한 오해의 소지가 있어 시공사에 대해 더욱 추가적인 자료를 요청 할 수 있는 상황이 발생할 수 있으며, 자칫 보험금 청구에 따른 절차가 복잡해 질 수도 있게 된다. 보험사 또한 피해가 발생하여 보험금 청구가 요청된 구역에 대해서 조기에 피해물량조

사를 실시하지 않음으로 인해 시공사가 공정상 자체적인 복구를 할 수 밖에 없는 현장상황을 방치한 것 또한 차후 문제의 소지가 충분이 있다고 사료된다. 보험금 청구액의 1/100에 불과한 조사비용을 보험사 및 시공사가 서로 미루는 상황에서 발생한 결과인 것이다.

표 4와 그림 16은 멀티빔 수심측량 결과에 따라 3차원 피해현황도에 근거하여 피해가 발생한 구간에 대한 단면위치를 세부적으로 파악하여 문제구간에 대해서는 Chainage에 대해 작게는 1m 혹은 5m 간격으로 파악된 조사 당일의 단면별 피해 물량표이다. 이에 따라 간 단면별 깎인(Cut) 상태 및 쌓인(Fill) 상태에 대한 구분이 정밀하게 파악되었으며, 피해물

표 4. 멀티빔 수심측량에 의한 단면별 피해조사 물량표

CHAINAGE	Distance(m)	Area(m ²)		Volume(m ³)	
		Cut	Fill	Cut	Fill
14+00.00	0	0.00	49.83		
14+05.00	5	0.00	17.56	0.0	168.5
14+10.00	5	0.00	10.47	0.0	70.1
14+15.00	5	0.00	10.85	0.0	53.3
15+00.00	5	0.00	6.96	0.0	44.5
15+05.00	5	12.05	8.64	30.1	39.0
15+10.00	5	6.08	15.03	45.3	59.2
15+15.00	5	3.46	19.06	23.8	85.2
16+00.00	5	8.26	24.14	29.3	108.0
16+05.00	5	21.37	2.74	74.1	67.2
중략					
23+00.00	20	11.59	6.05	241.7	253.1
24+00.00	20	0.00	16.91	115.9	229.7
25+00.00	20	7.04	4.06	70.4	209.7
26+00.00	20	12.92	3.02	199.5	70.8
중략					
TOTAL Volume				12,800.3	36,322.3
				49,122.6	

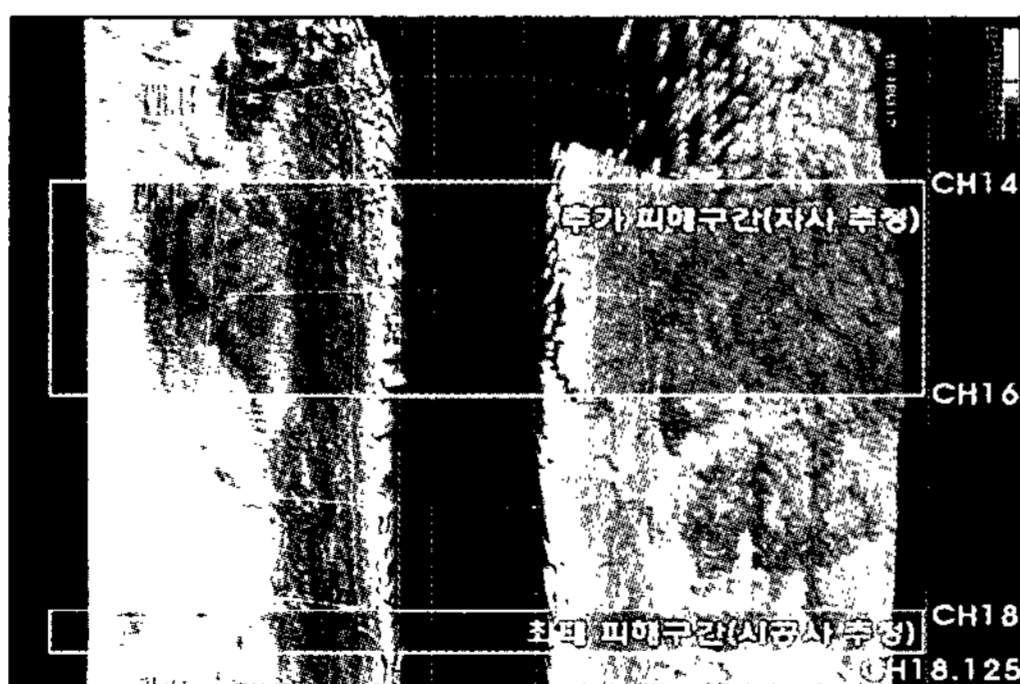


그림 14. 피해추정구간(CH14-19)

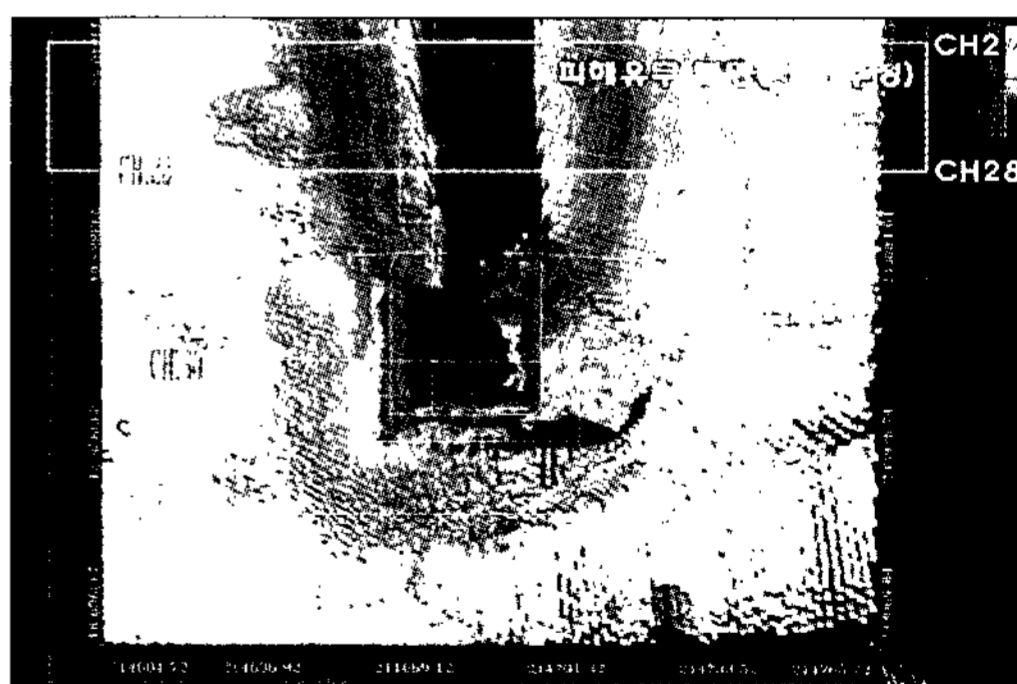


그림 15. 피해추정구간(CH27-28)

량을 정확하게 산정할 수 있었다.

시공사에 의해 제출된 피해단면도 물량서중 No.16을 각각 비교하면 표 5와 같이(자료공개 제한 상 1단면) 시공사와 보험사간의 물량차이는 67.44m³가 발생하였으며, 면적에 전파되는 표준편

차는 식 (2)로 나타냈다(이재기 등, 2005).

$$\sigma A = \sqrt{\left[\left(\frac{\partial A}{\partial a}\right)^2 \cdot \sigma_a^2 + \left(\frac{\partial A}{\partial b}\right)^2 \cdot \sigma_b^2\right]} \quad (2)$$

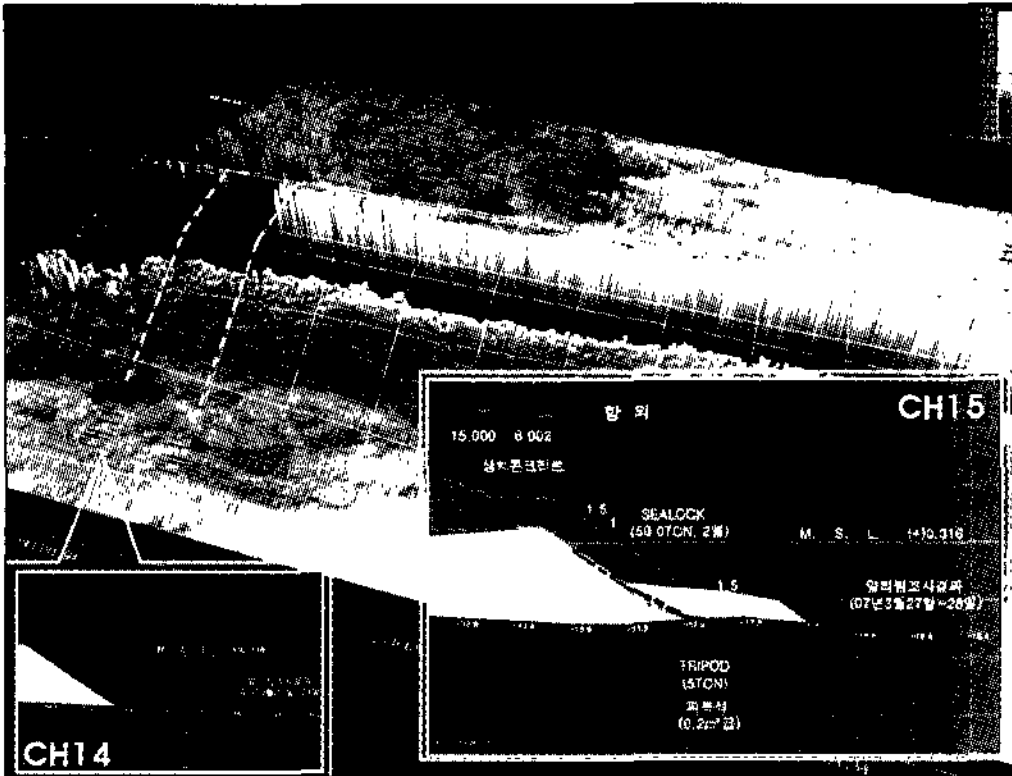


그림 16. 피해단면 분석도(Ch.14 - Ch.15)

표 5. 시공사 및 보험사간 피해물량 비교표(단면 No.16)

CHAINAGE	시공사	보험사 (멀티빔측량)	차이
No.16	198.74m ³	131.3m ³	67.44m ³

5. 결론

본 연구에서는 다중빔 음향측심을 적용하여 수중 구조물에 대한 정밀한 피해물량을 산출하고자 하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 일반적인 수심측량에서는 접근할 수 없는 구역에 대하여 다중빔을 45도로 회전하고 측심을 수행하여 평균해수면에서부터 해저면까지의 방파제 피해 현황을 광범위하게 조사할 수 있었다.

둘째, 수중구조물의 피해발생시 작업일보에 의한 피해물량 유추방식이나 평균단면법에 의한 단순히 일반적인 20m간격을 유지하여 물량산출을 할 것이 아니라, 다중빔 수심측량에 의한 3차원 현황도에 근거하여 단면위치 및 너비를 합리적으로 적용해야 함을 알 수 있었다. 따라서 토목현장의 경우 피해조사 시 기성측량의 일반적인 평균단면법에 의한 물량산

출에서 벗어나 적절한 단면위치 결정에 따른 물량산출이 필요하다고 판단된다.

셋째, 공사보험을 기 가입한 현장의 경우 피해가 발생한 그 순간에 보고 후에 자체 복구하는 것이 차후 보험사와의 사후 논쟁을 줄이는 것으로 판단된다.

넷째, 보험사의 경우 방파제의 피해가 발생하였을 때 피해가 발생한 시점으로부터 수일내에 멀티빔 수심측량을 실시하여 차후 시공사와의 원만한 해결을 유도해야 된다고 사료된다.

본 연구는 실제 피해가 발생한 공사현장에 대한 용역을 기반으로 수행 되었는데, 공사보험을 가입한 건설사 및 보험사에 대한 피해청구와 피해보상에 대한 정량적인 근거를 확보 할 수 있는 기틀을 마련할 수 있다고 판단된다.

참고문헌

1. 양인태(2000), 현대측량학, 진영사, pp. 508-510.
2. 박요섭(2004), 다중빔 음향소해탐사시스템의 오차분석 및 처리기술 연구, 박사학위논문, 인하대학교, pp. 42-52.
3. 유복모(1986), 측량학원론(1), 개문사, pp. 387-388.
4. 해양수산부(2005), 항만 및 어항공사 전문 시방서, 해양수산부, pp. 122-123.
5. 김연수(2005), S & MBES를 이용한 연안측량 정확도 개선 방안연구,부경대학교 박사논문, pp.40-50.
6. 이재기,최석근,박경식(2005), 측량학(1), 형설출판사, pp65-102.
7. 박근형(2005), 국내 건설공사보험제도의 문제점 분석 및 개선방안에 관한 연구: 해상시설물공사를 중심으로, 중앙대학교 석사논문, pp.1-7.