

항만공사와 안전관리

이 동 원 / 우리 협회 회원
부산항건설사무소장

〈 목 차 〉

1. 머릿말
2. 기상변화와 항만
3. 물(海水)과 항만
 - 해양·항만시설의 방식
 - 수중환경이 인체에 미치는 영향
4. 맺음말

1. 머릿말

우리나라의 건설공사는 70년대까지 현장에서 안전사고 발생시 특수한 경우를 제외하고 대부분 도급자의 안전담당자가 전담하여 피해당사자와 합의를 하는 선에서 마무리되었을 정도였으나, 80년도 초반에 이르러 안전시공에 대한 중요성이 대두되고 사고규모도 점차 대형화 됨에 따라 실지 현장에서 안전관리에 대한 규제강화와 안전사고 예방을 위하여 적극 대처해 오고 있는 실정이다.

이에 따라 항만건설의 현대화에 부응하여 초현대식 장비로 대형공사를 수행함에 있어서 대형 안전사고도 항상 도사리고 있다고 생각할 때 아직까지 항만공사 안전시공에 대한 구체적인 기준이 마련되지 않는 상태로서

각 현장에서는 과거 시공경험을 바탕으로 타 육상공사와는 달리 해상공사라는 어려움을 감수하면서 시공에 대처하여 왔다.

한편 '93년도 해운항만청관내 10개 지방해운항만청의 항만건설 현장에서 조사한 재해율은 상시근로자수 1,992명에 재해자수는 15명(사망 1명, 부상 14명)으로서, 재해율은 0.75%이며, 케이슨 제작·거치시 크레인작업 과정에서 재해가 많았으므로 이부분에 집중관리가 요망된다. 이 수치는 93년도 건설산업 재해율 1.44%보다 낮은 것으로 그 원인은 계속공사가 많아 한 업체가 다년간 시공한 관계상 현장 작업에 숙련되어 재해 발생이 적은 것으로 사료된다.

그러나 항만공사의 안전시공을 생활화함에 있어서, 특히 위험이 내포된 수상에서 작업하는 관계상 모든 시공 관련자 및 작업원들이 안전에 항상 유념하여 현장 구석구석까지 안전에 문제가 발생하지 않도록 조치하여 마음놓고 시공할 수 있는 풍토가 조성되어야 할 것이다.

2. 기상변화와 항만

항만공사는 특히 수중공사로 인한 안전시공상

어려움 외에 토목·건축·기계·전기·선박 등 복합적인 전문기술이 요망되고 이중 선박에 대한 안전작업·안전운항·안전정박이 이루어질 수 있도록 시공중에 발생하는 안전사고에 대비, 시공관계자는 항상 세심한 주의로 시공에 만전을 기하여야 할 것이다. 뿐만 아니라 항만공사는 태풍·해일·안개 등 기상악화로 인한 안전사고와 이상 조위·조류의 변화·표사의 이동 등 해양환경의 돌발적인 변동에 의해서도 상상 밖의 엄청난 피해가 우려되므로 이에 대한 대비도 소홀히 할 수 없는 형편이다.

특히 우리나라는 지형적인 특성상 태풍내습으로 인한 항만시설물의 안전대책을 항상 대비하여야 함은 물론 보편적으로 동해안은 파랑, 서해안은 연약지반으로 인한 재해발생이 지배적인 경향이 많다.

이와 같이 항만건설의 안전시공을 위하여는 기상 특보사항이 있을 시 예의주시하고, 재해를 최소화할 수 있는 방안을 강구하여야 하며, 안전관리는 특히 품질관리와 연계성이 많으므로 Total System화로 균형있게 연계 관리시켜야 함은 물론 항만건설에 종사하는 기술자와 기능공은 풍부한 현장 경험을 바탕으로 올바른 시공법을 철저히 실현한 안전시공을 생활화할 때, 흔히 현장에서 일어나는 사면붕괴, 지반침하 등 용기현상 등의 재해에 효과적으로 대처할 수 있을 것이다.

3. 물(海水)과 항만

항만공사는 상기 에너지를 동반한 동적(動的)인 요인뿐만 아니라 정적(靜的)이라 하더라도 해수와 함께 공존하고 있는 환경으로 인해 자칫 소홀히 취급될 경우 엄청난 피해를 낳을 가능성이 있는 각종 시설물의 부식(腐蝕)문제가 커다

란 숙제로 대두되고 있다. 해수는 담수에 비해 일반적으로 부식작용이 심한데, 이는 해수가 각종 원인에 의한 전기화학적 부식을 일으키기 쉬운 전해질용액(電解質溶液)이기 때문이다. 또한 항만의 규모가 갈수록 대형화하는 추세에 있고 이에 따라 (-)10.0m 이상 깊은 수중에서의 작업량이 증가하고 있어 자연 수중작업의 상당부분을 인력에 의존하고 있는 항만공사의 속성상 수중환경에서의 인체의 건강과 관련한 문제를 생각해 보지 않을 수 없는 실정이다.

따라서 본장에서는 항만시설물의 방식과 수중환경이 인체에 미치는 영향의 2가지 요인을 살펴 보면서 항만공사와 안전관리를 결부시켜 보고자 한다.

□ 해양·항만시설의 방식(防蝕)

〈부식환경〉

일반적으로 부식 및 방식의 대상이 되는 항만 시설로는 시트파일(Sheet Pile)안벽, 잔교, 씨바스, 돌핀, 부표(浮標), 수문, 취수구 스크린 및 이들의 기초파일, 급수통신배관, 하역기계, 조명시설 등이 있다. 또한 최근 해양개발의 진전에 따라 해저굴삭장치, 해상작업용 플랫폼, 해저관, 해상 및 해중저유탱크, 해저터널, 해상 공항, 해상교량, 해상발전소 및 각종 해상 플랜트 등 각종 구조물이 건설, 계획되고 있다.

이들은 대부분이 철강재로, 항상 해수중이나 해양성 분위기에 위치해 다른 구조물과 비교해 볼 때 부식성이 아주 심한 환경에 존재하기 때문에 이들 시설물의 방식은 특히 중요한 문제로 취급되고 있다. 해양환경의 부식성은 <표 1>과 같이 분류되는데, 다른 일반환경에 비해 부식성이 현저하게 심함을 알 수 있다.

해양환경에서 이들 부식요인을 환경별로 나타내면 <표 2>와 같으며, 부식을 촉진시키는 요소

〈표1〉 각종 환경중에서의 철강 부식성 비교(mm/년)

대 기 중	해양 및 항만	0.05 ~ 0.15
	도 시	0.09
	내 륙	0.025
수 중	해 수	0.1 ~ 0.2
	오 염 해 수	0.2 ~ 1.2
	공 업 용 수	0.01 ~ 0.05
지 중	해 저 토 양	0.03 ~ 0.2
	매 립 토 양	0.01 ~ 0.1
	일 반 토 양	0.001 ~ 0.05
해수비말대		0.1 ~ 0.3
해수간만조대		0.3 ~ 0.5

로서는 기온, 수온, 습도, 염분농도, 수중의 용존산소, 유속(조류) 등이 지배적이다.

그밖에 수선부부근(水線部附近), 해저부근에 보이는 마크로셀(대전지) 부식, 유사(流沙), 해양오염 등도 간과할 수 없는 요소이다.

〈표2〉 해양구조물의 부식환경과 부식요인

부식 환경	부식 요인
해양성대기	해염입자, 기온, 습도, 강우량, 바람
비 말 대	“
간 만 대	파랑, 기온, 하천수의 영향
해수침수부	파랑, 수온, 조류, 수심
해저토중부	토질, 오염(박테리아)

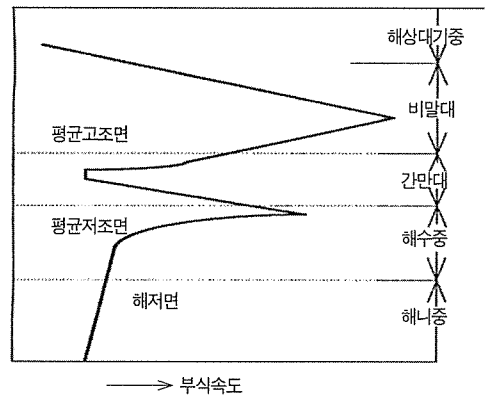
〈강재 부식속도〉

특히 항만구조물의 비말대(飛沫帶)와 평균간만조대 바로 밑 부근에서는 〈그림 1〉과 같이 강재에 심한 국부부식이 발생하는 것으로 알려져 있는데, 항만관계에서는 이런 종류의 국부부식을 특히 집중부식이라 한다.

집중부식의 부식속도는 1mm/yr을 초과하는 경우도 있으며, 항만 강구조물의 수명을 현저히 단축시킨다.

집중부식의 발생은 간만대(干滿帶)와 해수표층부(海水表層部) 사이에 발생하는 산소농도차

에 기인하는 산소농담전지(부식전지)에 의한 것으로, 해수표층부가 양극이 되어 일반적으로 부식된다. 이때 부식속도는 간만대의 크기 및 수심 등에 영향을 받는다.



〈그림1〉 해중강관파일의 부식경향 (Kure Beach에서 5년간 침지)

〈해중시설의 방식법〉

해중시설은 앞서 설명한 바와 같이 대기중, 비말대, 간만대, 해수중, 지중 등 각각의 부식조건이 다르므로, 방식법도 그에 적합한 방법을 채택하지 않으면 안된다.

시트파일(Sheet Pile)안벽, 잔교, 돌핀, 해저관, 드릴링 플랫폼 등의 방식법으로서는 도복장(塗覆裝) 콘크리트감기, 음극방식법 등이 있는데, 이런 시설은 한번 건설하면 음극방식을 제외하고는 그후의 방식대책이나 방식보수가 대부분 곤란하다. 따라서 이러한 영구적인 구조물에 대한 방식대책도 영구적이지 않으면 안된다는 것이 해중시설방식이 특수성이기도 하다.

실용되고 있는 방식법을 환경별로 분류해 보면 〈표 3〉과 같이 된다. 각 방식법을 적용하는데 있어서는 사용재료의 특성, 시공방법, 보수대책, 경제성 등을 충분히 검토해 가장 적합한 방식법을 적용해야 한다.

〈표 3〉 항만시설의 환경별 방식법

환경 방식법	대기중		수선부		수 중		해 저 토 중		육 속 토 중	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
도 장	◎	◎	○	△	○	×	○	×	○	×
라이닝	◎	◎	◎	○	○	△	○	×	○	×
콘크리트감기	◎	◎	◎	○	△	△	△	×	△	×
내식성금속피복	◎	◎	◎	△	○	×	△	×	△	×
페트로라담Tape피복	◎	◎	◎	◎	◎	◎	×	×	×	×
음극방식법	×	×	○	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎

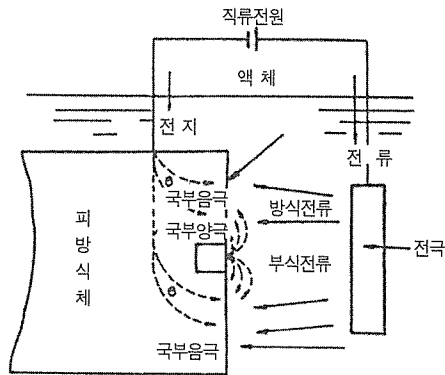
◎ 시공가능, 유효
○ 시공가능, 조금 유효
△ 시공가능, 그다지 효과적이지 아니거나 경제적인 대책이 아님
× 시공불능, 효과적이지 못함
A 신설구조물
B 기설구조물

〈음극방식법〉

다음은 여러가지 방식법 중 해수 및 토양중의 방식법으로서는 신설, 기설을 불문하고 거의 완전한 방식을 달성할 수 있는 획기적인 해중시설의 방식법으로서 현재 세계 각국의 안벽, 잔교, 돌핀 및 기타 항만, 해양의 구조물에 널리 이용되고 있는 음극방식법의 개요에 대해 간략히 기술하고자 한다.

〈그림 2〉는 음극방식의 요령을 모형적으로 나타낸 것으로 직류전원의 (-)측에 피방식체가 접속되며, (+)측에서는 전극이 접속된다. 그림에서 보듯이 피방식체표면에 여러개의 국부부식전지(局部腐蝕電池)가 존재해 각각 국부양극(局部陽極)과 국부음극(局部陰極)으로 구분되어 있다. 외부에 설치(수중 또는 지중에)한 전극과 피방식체 사이에 전압을 걸면 피방식체표면의 국부음극(局部陰極)은 국부양극(局部陽極)보다 전위가 높아지므로 전자 e는 우선 국부음극쪽으로 이동해 결국 외부전극으로부터 수중으로 유출한 전류는 국부음극에 유입된다. 전류가 국부

음극으로 유입되면 음분극현상(陰分極現象)에 의해 음극전위가 저하되어 국부양극의 전위에 근접, 전류가 증가하면서 음분극도 커져 소정의 전류치에서 음극전위는 국부양극의 전위와 동등해진다. 이때 금속표면에는 전위차(電位差)가 없으므로 부식발생에 필요한 에너지원이 없어지게 된다. 이때의 전위, 즉 피방식체표면의 최저국부양극전위(最低局部陽極電位)를 방식전위(防蝕電位)라 하며 이때의 전류밀도를 방식전류밀도(防蝕電流密度)라 한다. 한편 이때 방식전류밀도보다 큰 전류를 공급하면 피방식체 전면에 전류가 유입되어 피방식체의 전위는 방식전위보다 낮아지면서 완전방식이 달성되지만 지나치게 많은 전류를 공급하는 것은 비경제적이다.



〈그림 2〉 외부전원에 의한 음극방식 모형도

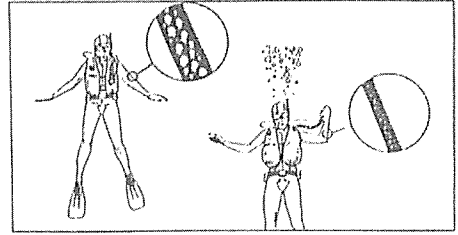
□ 水中環境이 人體에 미치는 影響

수중환경의 특성

물속 환경은 우리가 생활하고 있는 공기 중 환경과 많은 차이점이 있다. 수중환경 중 인간의 활동을 가장 크게 방해하는 것은 수심 10미터 마다 1기압씩 상승하는 압력이며, 두번째로 중요한 것은 공기보다 25배나 큰 연전도율로서 체온유지가 어렵다는 것이다. 이외에도 소리의 전달, 색깔의 변화, 부력현상, 무중력 현상 등

에 대한 의학적 이해는 자못 흥미를 끌게 한다.
 <압력현상>

기압 또는 압력을 표시할 때 kg/cm² 단위를 사용한다. 1기압은 1kg/cm²으로서 가로, 세로 1cm인 평면적 위에 1kg의 무게가 가해지는 것을 뜻한다. 현재까지 수립된 세계 최고 잠수기록이 686미터(68.9kg/cm²)라고 하였던 바 이 경우 인체의 체표면적 1cm² 마다 약 68.6kg의 무게, 우리 몸 전체 표면적(약 15,000cm²)에는 약 2,200톤(68.6×15,000)의 무게가 얹혀져 있었다고 상상하면 어떻게 그런 엄청난 압력조건에서 인간이 형태를 유지하고 생존할 수 있었는지 의아심이 생기지 않을 수 없을 것이다. 특수강 철판로 건조된 전투용 잠수함도 수심이 200-250미터를 넘어 잠함하면 수압에 의거 찌그러드는데 근육, 혈액, 뼈, 피부 등으로 구성된 인간이 수중 수백 미터 수심에서 찌그러들 없이 생존할 수 있는 것은 인간의 몸 구성분의 대부분이 액체로 되어 있기 때문이다. 왜냐하면 증가된 압력은, 기체에는 체적(부피)의 변화를 일으키지만 액체 성분에는 체적의 변화를 가져오지 않기 때문이다. 즉, 인체의 구성분을 액체성분과 기체성분으로 구분하면 허파, 콧속, 귀속, 입속 등의 부분을 제외하면 나머지 전부분은 액체 성분이라고 볼 수 있는데, 인체가 높은 압력조건에 노출되면 기체를 함유한 부위는 압력에 의하여 찌그러들지만 나머지 부분에는 찌그러들 현상이 발생하지 않는다는 것을 뜻한다. 그러므로 신체의 일부분이 찌그러들음을 예방하기 위하여는 인체 주변의 압력이 높아질 때 공기를 함유한 부분의 압력을 주위 압력과 같게 만들어 주어야 한다. 이를 위하여 수중의 잠수자는 수심이 깊어 질수록 더욱 높은 압력의 기체를 호흡하게 된다. 스쿠바(SCUBA) 잠수장치는 자동적으로 수압과 같은 압력의 기체가 공급되도록 개발되



▲ 수압으로 '네오프렌' 잠수복이 얹어진 현상

어 있다. 만약 잠수자에게 수압과 같은 압력의 공기가 공급되지 못하면 잠수자의 허파나 기타 공기를 가지고 있는 신체 부위는 찌그러들어 손상받게 된다.

<체온변화>

사람이 팔다리의 근육을 움직이면 공기중에서는 체열생산이 증진되어 추위를 이겨나갈 수도 있지만 수중에서는 팔다리를 움직여 생산되는 체열보다 팔다리를 움직일 때 주위의 물에 빼앗기는 체열이 훨씬 많기 때문에 추운 물에서의 몸동작은 오히려 체온유지에 불리하다. 따라서 바다에서 조난을 당하여 수면에서 장시간 구조를 기다려야 하는 상황이라면 피부로부터의 체온손실을 최소화하기 위하여 몸을 최대한 웅크려 체온손실을 적게 하는 것이 생명유지에 유리하다. 그러기 위하여는 해상 조난시에는 반드시 구명대를 착용하고 있어야 한다. 구명대를 입지 않으면 수영을 잘하는 사람도 수면에 떠 있기 위하여 계속적으로 팔다리를 움직여야 하는데, 이러한 동작은 체온을 더 빨리 빼앗기기 때문에 생명 유지가 어려워진다. 수온이 섭씨 15도일 때는 통증을 느끼며, 충분한 체온유지 대책이 없는 잠수자는 섭씨 5도인 수중에서는 1시간 이내에 사망한다. 흔히 스쿠바 잠수 때는 체온유지를 위하여 네오프렌이란 재료로 제작된 잠수복을 착용하는데 이 잠수복 재료에는 스폰지처럼 조그만 공기방울들이 들어 있고, 이 공

기방울들은 물과 신체 사이에서 열차단 기능을 한다. 그러나 잠수 수심이 깊어져 수압으로 이 공기방울들이 압축되면 잠수복이 얇아지고 열차단 효과가 감소하여 잠수자의 체온유지에 문제점이 발생한다.

〈소리의 전달〉

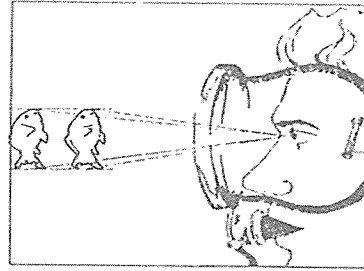
수중에서 소리의 전달 속도는 초속 1,400여 미터로서 공기중에서보다 4배나 빠르다. 공기중에서 인간은 양쪽 귀에서 듣는 소리의 청취 시간의 차이를 인지하여 그 소리가 오른쪽에서 왔는지 왼쪽에서 왔는지를 구분할 수 있다. 그러나 물 속에서는 소리의 전달속도가 너무 빠르기 때문에 양측 귀에서 소리의 청취시간의 차이를 느끼지 못하여 소리가 발생하는 곳의 위치를 구별하지 못한다.

〈색깔의 변화〉

수중에서의 광선의 굴절율은 공기중에서보다 1.3배 커서 물안경을 착용하고 수중물체를 보면 3/4 정도 가까와 보이고, 4/3 정도 커 보이며, 광선이 흩어져 분산되기 때문에 육상에서와 달리 그림자 현상이 미약하다. 또한 무지개 색깔의 가시광선이 물 속으로 투과할 때는 광선의 파장이 긴 색깔부터 흡수되어 수심에 따라 색깔이 틀리게 보인다. 즉 파장이 긴 붉은색부터 흡수되어 수심 약 6.5미터보다 깊은 물속에서는 육상에서는 붉은 색깔이었던 물건이 붉게 보이지 않는다.

예를 들면 붉은색 잠수복, 붉은색 불가사리 또는 물고기가 창에 찢리어 흘러는 붉은색 피가 10미터보다 깊은 수심에서는 붉게 보이지 않는다는 것이다. 수심이 깊어짐에 따라 12미터부터는 주황색이, 24미터부터는 노란색이 흡수되어 다른 색깔로 보이게 되며, 점차 녹색 계통의 색깔로 보인다.

〈부력현상〉



▲ 굴절율의 차이로 수중에서 나타나는 현상

수중에서의 모든 물체는 부력을 갖는다. 어떤 물체를 물이 가득 담긴 통 속에 담그면 그 물체의 부피만큼 물이 넘쳐 나오게 되는데, 이 넘쳐나온 물의 무게와 그 물체의 무게를 비교하여 물의 무게가 무거우면 그 물체는 뜨고(양성 부력), 물의 무게가 가벼우면 그 물체는 가라앉는다(음성 부력). 예를 들어 납 덩어리는 넘쳐나온 물의 무게가 가볍기 때문에 가라앉고, 나무토막은 넘쳐나온 물의 무게가 더 무거우므로 뜨게 된다. 사람의 몸은 호흡에 따라 숨을 들이쉬는 때는 양성부력이 되어 뜨고, 숨을 내쉴 때는 음성부력이 되어 가라앉는다. 왜냐하면 사람의 몸무게는 호흡에 따라 변하지 않지만 체적은 변하여 숨을 깊게 들이 마시면 가슴이 부풀어 더 많은 물을 물통 밖으로 넘치게 할 수 있기 때문이다. 한편 스쿠바 잠수자가 네오프렌으로 제작된 잠수복을 입고 공기통을 휴대하고 물 속에서 활동할 때는 음성부력을 유지하기 위하여 납덩이 무게추(벨트)를 착용하는데 수심이 깊어지면 잠수복이 수압으로 얇아져 음성부력이 더 심해지게 된다. 또 공기통의 공기가 소모됨에 따라 잠수장비가 가벼워지면 양성부력화 되어 위로 떠오르려는 현상이 생겨 수중에서의 활동에 제약받으며, 부주의로 납 벨트가 몸에서 풀려 나거나 구멍대가 부풀어 오르면 양성부력이 되어 수면으로 급속히 떠오르게 된다. 이때 잠수

자가 당황하여 호흡을 멈추면 앞으로 설명할 허파 과열증과 그에 따른 치명적 건강장해를 일으킬 수 있다.

〈무중력 현상〉

수중에서는 중력을 느끼지 못한다. 사람이 공기중에서 있을 때는 중력의 영향을 받아 혈액이 신체의 아랫쪽으로 몰리게 된다. 팔을 심장보다 위로 쳐들었을 때 손등에 혈관이 불거져 나오는데, 이와 같은 중력에 의한 체액의 위치 변화는 우리의 위치감각 인지에 중요한 영향을 한다. 그러나 수중에서는 육상에서와 같이 팔을 내리고 반듯이 서 있어도 손등이나 발등에 혈관이 불거져 나오지 않는다. 그 이유는 손이나 발이 위치한 수심의 수압이 심장이 위치한 수심의 수압보다 높기 때문에, 더 큰 외부로부터의 압력으로 혈관이 불거져 나올 수 없는 것이다. 그 결과 지상에서와 달리 다리 쪽에 혈액이 모이는 현상이 없어져 위치감을 인지하는 능력에 변화가 나타난다. 그러므로 캄캄한 어두움의 수중에서, 또는 눈을 감고 있을 때, 잠수자의 부력이 뜨지도 가라앉지도 않는 중성부력상태라면 잠수자 자신은 어떠한 자세로 물 속에 위치하고 있는지 구분할 수 없게 된다. 이와 같은 현상을 이용하여 우주 비행사들에게 무중력상태를 체험시킬 때 잠수방법이 이용되기도 한다.

고압환경에서 나타나는 기체의 변화

수중고압환경을 재현하기 위한 압력장치(챔버)를 잠수재현장치라고 부르며 외국에서는 잠수교육을 시작하기 전, 적성선발을 위하여 반드시 이 장치를 이용하여 검사를 실시하나 우리나라는 민간시설의 부족으로 잠수를 즐기는 사람들조차 잠수재현장치에 대한 이해가 부족한 것으로 보인다. 압력내성검사의 방법은 피교육자들을 챔버 속에 입실시킨 후 출입해치를 폐쇄하

고 외부로부터 압축공기를 공급하여 재현장치 내부의 압력을 증가시키는 것이다. 대개 수심 34미터(112ft) 수압조건까지 압력을 높인 후, 2-3분간의 체류 후 다시 대기압 조건으로 복귀하는 것이다. 이 과정을 통하여 기체와 관련된 몇 가지 흥미로운 경험을 얻을 수 있다. 재현장치에 입실할 때 농구공과 유리컵에 넣은 꿀벌과 부채와 풍선을 함께 가지고 들어간다. 출입구를 폐쇄한 후 압축공기를 공급하면 내부의 기압이 서서히 올라가기 시작하는데, 곧 이어 압력으로 귓속의 고막이 속으로 밀려 들어가면서 귀가 아파지기 시작한다. 귀가 아파지면 손가락으로 코를 쥐어 콧구멍을 막고 코쪽을 향하여 공기를 내뿜으면 이 공기가 코와 중이(고막 안쪽의 좁은 공간) 사이의 좁은 통로(이관)을 통하여 중이에 공급되어 속으로 밀려들어 왔던 고막이 다시 원상으로 되돌아가 대개의 경우 통증이 없어지게 되며 이러한 통증 해소방법은 목표 수심에 도착할 때까지 반복해 주어야 한다. 그러나 위와 같은 방법으로 통증이 없어지지 않으면 그 사람은 챔버 밖으로 나와야 한다. 선천적으로 이관이 좁아졌을 때도 통증 해소가 되지 않지만 대부분의 경우 감기 등으로 점막이 부어있을 때 흔히 나타난다.

내부압력이 높아질수록 함께 휴대하고 들어갔던 농구공은 쭈글쭈글해져 점점 납작해지며, 유리컵 속에 들어있던 꿀벌은 제대로 날지 못한다. 부채질을 하면 좌우로 저을 때 저항이 증가되어 많이 휘어지는 현상을 볼 수 있다. 피교육자들에게 휘파람을 불게 하면 휘파람이 되지 않으며 목표 수심에 도착할 때 쫄 말을 시켜보면 목소리에 췌소리가 섞인 듯한 변성현상을 느끼게 된다. 압력이 수심 30여 미터에 가까워지면 어느 누가 먼저인지 모르게 서로 끼득끼득 웃기 시작한다. 목표수심에 도착하여 호흡정지시

간을 측정해 보면 누구나 손쉽게 3분여 동안 숨을 참을 수 있음을 알게 된다. 압력을 낮추기 직전에 가지고 들어갔던 풍선에 공기를 가득 불어넣고 묶어둔다. 이후 압력을 서서히 낮추는데 언제 자기들이 끼득끼득 웃었느냐는 듯이 짐작하게 앉아있음을 보게 된다. 내부압력이 점차 낮아져 대기압에 가까워지면 유리컵 속의 꿀벌도 다시 날려, 쭈글어들었던 농구공도 다시 원상태로 되돌아 온다. 그러나 감압 전에 공기를 불어넣은 풍선은 점차 팽창한 후 드디어 터져 버린다.

이런 현상들은 증가된 압력에 따라 기체의 성상에 변화가 나타났기 때문으로 이와 관련된 기체의 법칙에 대하여 살펴본다.

〈보일(Boyle)의 법칙〉

압력이 높아지면 기체의 체적(부피)이 작아진다는 법칙이다. 압력이 높아질 때 귀가 아픈 현상, 농구공이 쭈글쭈글해졌다가 다시 원상태로 되는 현상, 챔버 속에서 공기를 불어넣은 풍선이 감압시 터지는 현상 등이 이 기체법칙에 의하여 설명된다. 피교육자의 허파가 평상시와 같은 형태를 유지할 수 있었던 것은 챔버 속에서, 주위 압력과 같은 압축된 공기를 호흡했기 때문이다. 만약 피교육자가 압력이 높아질 때 자연스럽게 숨을 쉬지 않고, 숨을 멈추고 있었다면 그 사람의 허파는 농구공이 쭈글쭈글해진 것처럼 형태에 변화가 초래되었을 것이고, 챔버 속에서 높은 압력의 기체를 호흡하던 피교육자가 압력이 낮아질 때 숨을 멈추고 있었으면 허파가 풍선처럼 파열되었을 것을 뜻한다.

〈달톤(Dalton)의 법칙〉

‘여러 가지의 기체가 혼합되어 있을 때 각 기체의 압력의 합은 전체 압력과 같다’는 법칙이다. 이것은 전체 압력이 높아지면 각 기체의 압력도 증가한다는 것을 뜻한다. 즉 잠수자는 압

력조건에서 허파가 찌그러들지 않도록 주위 압력과 같은 압력의 기체를 호흡해야 하는데, 그 결과 그 기체를 구성하고 있는 산소, 질소, 또는 혼합기체잠수 때는 헬륨 등의 각 기체의 압력도 함께 높아진다. 30여 미터 수압 조건에서 3분여 동안 숨을 멈출 수 있는 이유는 이것으로 설명된다.

〈헨리(Henry)의 법칙〉

‘기체의 압력이 높아지면 그 기체는 액체(혈액)에 더 많이 녹아 들어간다’는 법칙이다. 달톤의 법칙에서 설명한 것 처럼 수중의 잠수자는 높은 압력의 질소, 산소, 헬륨가스 등을 호흡한다. 따라서 이 기체들은 헨리의 법칙에 따라 우리 몸 속에 많이 녹아든다. 그 결과 질소가스에 의하여 술 마신 듯한 마취현상이 생기고, 산소에 의하여 전신경련을 일으킨다.

잠수와 관련된 건강장해

〈질소마취현상〉

압축공기 잠수의 대표적 단점인 질소마취현상은 30m보다 깊게 잠수할 때 나타난다. 30-60m 수심에서는 황홀감 등이, 60-90m에서는 판단력 감퇴, 반사기능감퇴, 자만감 등이, 90-120m에서는 환청, 환시, 조울증, 기억력감퇴 등이 나타나며, 120m 이상에서는 의식을 상실한다. 질소마취에 의한 현상을 심해의 황홀감(rapture of depth)이라고도 표현한다.

질소마취현상은 대기압 조건으로 복귀시 아무런 후유증 없이 회복되며 목표수심 도착 직후에 증상이 가장 심하고 이후 약간 약화되며 개인차가 심하다. 예방법으로는 마취현상이 적은 헬륨과 같은 가스를 산소와 혼합하여 호흡기체로 사용한다.

〈산소독성〉

수중의 잠수자는 폐압착증(lung squeeze)를

예방하기 위하여 수압과 같은 압력의 압축기체를 호흡하여야 한다. 그 결과 달톤의 법칙에 의거 산소의 분압이 증가하여 중추신경계 및 폐에 산소독성을 일으킨다.

중추신경계 산소독성은 사람에 따라, 동일인에게도 시간에 따라 다르게 나타난다. 초기 증상으로는 시야가 좁아지는 현상, 이명(귀에서 소리가 나는 것), 구역(메스꺼움), 입술이나 눈 주위의 근육 떨림증, 정신적 긴장도 증가 및 현기증 등이 있다. 심해지면 근육이 뒤틀리는 경련을 일으킨다.

폐산소 독성의 증상에는 기침, 호흡곤란, 비충혈(콧속이 붓는 것), 현기증 등이 있다.

〈압력손상〉

흔히 압착증이라고 한다. 중이 압착증이 가장 흔한 압력손상이다. 외부 수압에 의하여 고막이 중이쪽으로 밀려 들어가면서 통증이 유발된다.

예방책은 코를 막고 코쪽으로 공기를 내뿜어 콧속공기를 이관을 통하여 중이로 보내 중이 압력을 평형시켜 주는 것인데, 가압과정중 귀에 불편감이 나타날 때마다 반복적으로 실시하여야 한다. 염증 등으로 이관이 막히면 위와 같은 방법(‘발살바’ 조작)으로도 압력평형을 이룰 수 없으므로 심한 통증과 함께 고막이 파열될 수 있다. 중이염을 앓아 양쪽 고막이 뚫려 있는 사람에게는 중이 압착증이 나타나지 않는다. 그러나 콧속에 오염된 물이 들어갈 수 있어 염증이 쉽게 생기므로 잠수를 삼가는 것이 좋다.

외이 압착증은, 콧속에 물이 들어가는 것을 피하기 위하여 귀마개를 사용할 때 잘 생긴다. 통증과 함께 콧속에 무엇이 가득찬 것과 같은 충만감이 느껴진다. 귀마개를 사용하면 외이는 물론 중이에도 압착증이 잘 생기므로 잠수시에는 사용하지 않아야 한다.

코 주위에는 부비동이라 불리는 공기가 들

어있는 공간이 있다. 흔히 이곳에 염증(병)이 생기면 축농증이라고 하는 곳이다. 이곳에도 압착증이 발생한다. 눈주위, 눈 뒷쪽에서 날카로운 통증을 느끼고 수면으로 복귀한 후 코로부터 피가 섞인 콧물이 나오기도 한다.

폐 압착증은 깊은 수심까지 호흡정지 잠수를 할 때 발생한다. 챔버 속에서 ‘농구공이 쭈그러드는 것처럼 너무 깊게 호흡을 맞추고 잠수하면 허파가 쪼그라들고 심하면 갈비뼈도 부러져 큰 손상을 입을 수 있다.

착용하고 있는 물안경에 의하여도 압착증이 발생한다. 물안경 속의 압력이 주위 수압보다 낮을 때 물안경 속의 압력이 높아지기 위하여 눈 주위가 붓고 코피가 나기도 하며 심하면 눈알에 출혈이 생기기도 한다.

예방법은, 코를 통하여 물안경 속에 공기를 불어넣어 물안경 속 압력을 높여주는 것이다. 따라서 잠수 때는 두 눈과 코를 함께 덮는 물안경을 착용하여야 한다.

〈허파 과팽창(파열) 현상〉

상승시 발생하는 압력손상의 하나이다. 고압 환경에서 수압과 같은 압력의 압축기체로 호흡하던 잠수자가 보다 낮은 수압조건으로 상승할 때 허파 속의 기체가 팽창하여 챔버 속의 풍선이 터지는 것처럼 발생한다.

압력이 서서히 낮아지는 과정에서는 잠수자가 일부러 호흡을 멈추는 경우는 드물겠지만 갑자기 양성부력이 형성되어 급히 떠오르거나, 숙련되지 않은 잠수자가 긴박한 상황에 처하여 호흡을 멈추고 상승할 때 생긴다. 그러나 제주도 해녀와 같이 잠수장치 없이 단지 호흡을 일시적으로 멈추고 하는 잠수에서는 생기지 않는다. 왜냐하면 챔버에서 농구공이 작아졌다가 다시 원상태로 되돌아 가는 것처럼 사람의 허파도 원상태로 되돌아가기 때문이다. 반대로 스쿠바 잠수

처럼 물 속에서 압축기체를 호흡하던 경우에는 1미터 정도의 얇은 깊이에서도 발생할 수 있다. 이때 공기 방울이 혈관에 들어가면 매우 위험하다.

〈동맥혈 기체 색전증〉

잠수사고 중 가장 위험하다. 허파가 풍선처럼 파열하여 공기 방울이 동맥에 들어가면 생긴다. 발작, 의식상실, 마비, 감각이상, 시력이상, 현기증, 두통 등이 수면으로 올라오는 상승 중 또는 수면 도착 후 10분 내에 갑자기 나타난다. 빨리 챔버에 넣어 다시 압력을 높혀서 혈관 속에 생긴 공기방울의 크기를, 챔버 속에서 압력이 높아지면 농구공이 작아졌던 것처럼 작게 해주어야 한다. 이러한 치료법을 재(가)압치료라 한다.

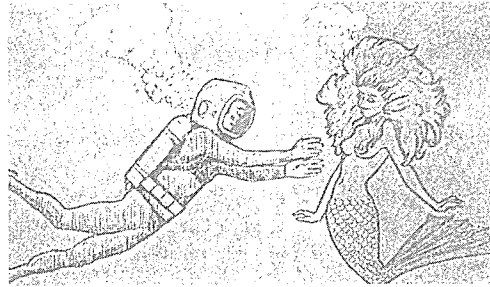
〈감압병〉

고압환경에서 헨리의 법칙에 의거 체내에 많이 용해되었던 질소, 헬륨 등의 기체가 압력이 낮아질 때 혈액과 조직에 기포를 형성하여 혈액 순환을 방해하거나 주위 조직에 기계적 영향을 줌으로써 여러가지 증상을 일으킨다. 가장 많은 증상은 관절 부위의 통증이다. 뇌, 척수(등골), 허파 등에 기포가 생기면 복잡한 증상들이 나타난다.

이러한 증상들은 수면도착 후 1시간 이내에 60%, 2시간 이내에 75%, 3시간 이내에 95%가 나타나기 때문에 진단이 매우 쉽다.

잠수 직후에 비행기를 타면 비행기 속의 압력이 대기압보다 낮기 때문에 감압병이 생길 수 있어 주의가 요구된다.

잠수병(감압병)이 발생하면 가능한 빨리 재압 치료를 받아야 하는데, 물 속에 환자를 다시 잠수시키는 것도 압력을 높이는 방법이지만 오히려



▲ 질소마취현상으로 잠수자에 나타나는 비정상적 행동, 판단

려 증상을 악화시킬 위험이 매우 크므로 삼가해야 한다. 치료시설까지 후송하는 동안 사망할 우려가 큰, 지극히 응급인 환자가 아니라면 치료용 챔버가 비록 먼 거리에 위치하더라도 후송하는 것이 좋다.

4. 맺음말

원래 토목공학(Civil Engineering)은 인간생활을 윤택하게 하는 데 그 연구목적이 있으나 최근에는 그 대상으로 하는 인간을 깊은 슬픔으로 빠져들게 하는 악역을 번번히 맡게 되어 막중한 책임감을 함께 느끼지 않을 수 없다. 건설분야에서 사고를 척결하여 고도의 성숙한 인간생활을 영위할 수 있도록 진지한 노력이 뒤따라야 할 것이다. 한편 『만일 우리가 눈으로 볼 수 있는 붕괴만을 사고라 정의한다면 사고는 얼마 일어나지 않는 셈이 된다. 그러나 설계가 기대했던 것과 일치하지 않는 바를 사고라 정의한다면 사고는 수없이 존재하게 된다』는 귀절이 간혹 문헌중에 언급되어지고 있음을 보는데 이는 우리 건설인의 목표가 사고의 노이로제를 뛰어넘어 한차원 높은 곳에 두어져야겠다는 목표 재설정의 의미로도 받아들여져야겠다.