

# 캐비테이션 浸蝕-腐蝕에 미치는 氣體와 固體粒子的 영향

林祐助 · 白碩鐘 · 黃在鎬

釜山水產大學校

(1993년 4월 18일 접수)

## Influences of Gas and Solid Particle on the Cavitation Erosion - Corrosion

Uh-Joh LIM, Suk-Jong BEAK and Jae-Ho HWANG

National Fisheries University of Pusan

(Received April 18, 1993)

Recently, with the rapid development in large sea water systems, there occurs much interest in the study of erosion - corrosion.

In this study, the mild steel(SB41) was tested by using of a erosion - corrosion test apparatus with fountain - jet and was investigated under the environments of liquid, air - liquid 2 phase flow and solid particle - liquid 2 phase flow.

Main results obtained are as follows :

1. The weight loss by corrosion - erosion in air - liquid 2 phase flow are more increased than that in only liquid solution.
2. Effect of air - liquid 2 phase flow on corrosion - erosion sensitivity becomes more sensitive in natural seawater than that in distilled water.
3. The corrosion potential by corrosion - erosion in air - liquid and soild particle - liquid 2 phase flow becomes noble than that of only liquid solution.

### 序 論

최근 工業의 發展과 더불어 工場設備, 自動車, 航空機, 船舶 및 海洋構造物 등은 高速 및 大型化 되고 있으며, 이들 機械構造物 등이 사용되는 環境條件은 多樣化되고, 더욱 苛酷化되는 趨勢에 있다. 특히 液體를 취급하는 機械裝置는 流速 및 機

械部分의 回轉速度 등이 빠르게 되면 流體衝擊과 靜壓의 低下에 따른 局部的 沸騰으로 인해 캐비테이션(cavitation)現象이 발생하며, 이러한 캐비테이션이 氣泡 崩壞에 따른 衝擊壓으로 캐비테이션 - 浸蝕이 발생하여 機械裝置에 損傷이 일어남으로써 이들 機械의 效率를 저하시킬 수 있다. 더욱이, 腐蝕性的 液體에 사용되는 機械裝置에는 캐

비테이션-浸蝕과 동시에 電氣化學的인 腐蝕이 일어나게 되며, 浸蝕-腐蝕이 중첩하여 발생하는 경우는 浸蝕과 腐蝕이 상호간에 가속하는 相乘效果 때문에 機械裝置의 壽命에 치명적인 영향을 미친다. 따라서 液體를 취급하는 機械裝置는 金屬材料에 미치는 浸蝕-腐蝕의 相乘效果에 관한 연구가 요구되고 있다<sup>1)~3)</sup>.

이러한 浸蝕-腐蝕損傷의 裝置로는 펌프 임펠러, 船舶의 프로펠러, 內燃機關의 冷却水側과 메인 및 크랭크 핀 베어링, 船尾管軸 베어링, 空氣壓縮機의 베어링, 冷凍機의 베어링, 각종 工業용 수 配管, 원자로의 冷却配管系統, 水車, 밸브, 海洋構造物 等に 발생하며, 사용 液體 中에 腐蝕因子, 氣體, 토사와 같은 固體粒子 等이 飽和되는 경우, 裝置部材에 浸蝕-腐蝕의 損傷이 더욱 심하게 일어날 수 있다<sup>4)~7)</sup>.

캐비테이션 발생으로 인한 浸蝕-腐蝕現象은 19世紀 후반에 高速 船舶의 프로펠러에서 目擊되었으며, 그 이후 현재까지 각종 材料의 表面에 캐비테이션에 대해 다수의 연구가 행하여져 왔으나 이들의 연구는 浸蝕-腐蝕舉動에 미치는 材料, 環境 및 流體力學의 지배인자 中에서 대부분 流體力學的인 實驗·報告들이었다<sup>8),9)</sup>. 그러나 流體力學의 원인에 의한 氣泡破壞에 따른 衝擊力과 使用 環境條件의 電氣化學的인 腐蝕이 작용한다면, 캐비테이션에 의한 浸蝕-腐蝕現象은 機械的, 電氣化學的인 相乘效果로 機械裝置 部材에 치명적인 損傷을 일으킬 것으로 생각되는 腐蝕環境의 影響에 대해서는 몇 편의 研究結果에도 불구하고 浸蝕-腐蝕舉動에 미치는 氣-液2相流, 固體粒子-液2相流의 影響에 대해서는 충분히 밝혀져 있지 않

다<sup>10)~17)</sup>.

따라서 本 研究는 캐비테이션 침식-腐蝕에 미치는 氣體와 固體粒子의 影響에 대한 研究를 하기 위하여, 液體, 氣-液2相流 및 固體粒子-液2相流의 環境條件下에서 軟鋼(SB41)의 캐비테이션 浸蝕-腐蝕實驗을 실시하여 浸蝕-腐蝕舉動을 觀察·調査하였다. 이러한 實驗結果를 토대로 하여, 液體, 氣-液2相流 및 固體粒子-液2相流 中에서 캐비테이션 浸蝕-腐蝕의 舉動을 究明하고, 腐蝕電位와 腐蝕電流密度를 求하여 電氣化學的인 特性을 考察함으로써 캐비테이션 浸蝕-腐蝕에 대한 基礎設計資料로 活用하는데 寄與하고자 한다.

### 試驗片 및 實驗方法

#### 試驗材料 및 試驗片

本 實驗에 사용된 試驗片의 材料는 두께 5mm (15×57mm)인 市販의 軟鋼(SB41)인 一般構造用 炭素鋼材로 그 化學的 成分과 機械的 特性은 Table 1과 같으며 그 形狀은 Fig. 1에 나타냈다.

이 試驗片의 表面은 사포 800-1200 番까지로

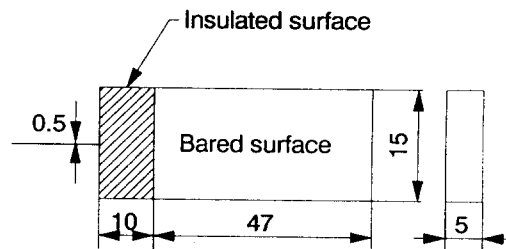


Fig. 1. Dimension of test specimen.

Table 1. Chemical compositions and mechanical properties of used material(SB41)

Chemical composition (Wt %)	C	Si	Mn	P	S
	0.12	0.29	0.59	0.01	0.01
Mechanical properties	Tensile strength (kgf/mm <sup>2</sup> )		Yield strength (kgf/mm <sup>2</sup> )		Elongation (%)
	42.4		25.8		32

研磨하고, 오일 랩핑(oil lapping)한 後 아세톤으로 脫脂하였다. 有效露出表面을 제외한 나머지 部分은 실리콘 수지 및 테프론 테이프로 被覆絶緣하였고, 腐蝕電位를 測定하기 위하여 0.5mm 直徑의 被覆電線을 試驗片에 삽입, 고정하였다.

**實驗裝置**

本 實驗에 사용한 水噴射에 의한 캐비테이션 浸蝕-腐蝕實驗裝置의 全體系統圖는 Fig. 2와 같다. Fig. 2의 浸蝕-腐蝕實驗裝置는 自作한 것이며, 內徑 50mm×길이 200mm의 아크릴 配管에 內徑 3mm의 플라스틱 平行노즐(parallel nozzle)을 설치하여 水噴射하도록 하였다.

腐蝕溶液의 공급 및 순환은 플라스틱 펌프에 의해 노즐선단으로부터 매분 20리터의 腐蝕溶液을 25m/s의 速度로 噴射하였다. 噴射된 腐蝕溶液은 노즐선단으로부터 40mm의 거리에 고정된 試驗片에 충돌하도록 하여, 溶液의 衝擊에 의한 浸蝕-腐蝕現狀이 발생하도록 하였으며, 또 충돌되는 試驗片의 背面에는 渦 캐비테이션(vortex cavi-

tation)에 의한 浸蝕-腐蝕現狀이 발생하도록 하였다. 試驗片과 試驗裝置의 각 部材들 사이에 異種金屬接觸에 의한 電池作用腐蝕(galvanic corrosion)을 방지하기 위하여, 순환회로 配管을 비롯한 試驗裝置의 部材들은 플라스틱, 테프론 및 아크릴 등의 절연성 材料를 사용하였으며, 腐蝕中 試驗片에서 腐蝕된 腐蝕生成物에 의한 電氣化學的인 影響을 제거하기 위하여 循環回路配管에 절연성 필터를 설치하였다. 그리고 氣-液2相流의 浸蝕-腐蝕舉動을 考察하기 위하여 空氣펌프를 설치하였으며, 試驗片의 電氣化學的인 電位를 測定하기 위하여 電位差計, 電流計, 飽和카로멜電極을 Fig.2의 浸蝕-腐蝕實驗裝置와 같이 배선하였다.

**實驗方法**

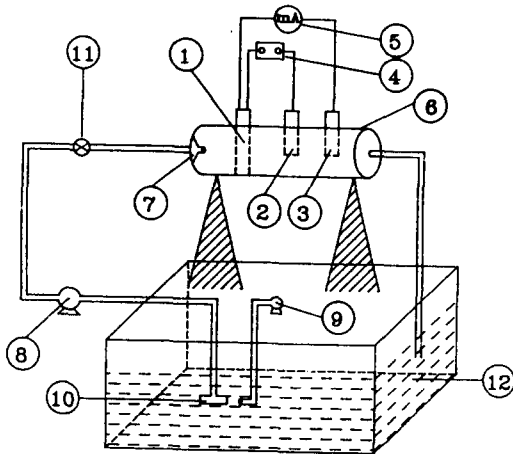
腐蝕溶液은 比抵抗  $\rho=25 \Omega \cdot cm$ 인 天然海水와  $\rho=15,000 \Omega \cdot cm$ 인 蒸溜水로 하고 水溫은 室內溫度로 유지하였으며, 48時間 마다 腐蝕溶液을 교환했다. 浸蝕-腐蝕에 의한 무게감소량의 測定은 試驗前에 試驗片의 重量을 測定하고, 腐蝕溶液에 試驗片을 침지하여 24時間이 경과된 후 試驗片을 實驗裝置에서 해제하여 물로 세척하였다. 그리고 60%의 농질산溶液에 1분간 침지하여 試驗片 표면의 腐蝕生成物을 제거시킨 다음 蒸溜水로 세척한 후 건조 시켜서 重量감량을 계측하였다.

電氣化學的인 舉動은 飽和카로멜電極을 基準電極으로 사용하여 高抵抗電位差計에 의해 電極電位(腐蝕電位)를 測定하였으며, 電極電位の 測定週期는 24時間마다 정기적으로 測定하였다.

本 研究에서 浸蝕-腐蝕實驗의 구체적인 條件은 다음과 같다.

1) 浸蝕-腐蝕에 미치는 氣-液2相流의 영향

Fig. 2에서와 같이 空氣펌프를 설치하여, 空氣 펌프의 출구에 內徑 2mm의 비닐 배관을 순환펌프의 흡입구에 접속함으로써 空氣주입에 의한 水溶液中에 氣體(空氣)가 飽和된 氣-液2相流과 空氣를 주입하지 아니한 溶液에서의 浸蝕-腐蝕舉動을 비교하였다.



- |                      |                        |
|----------------------|------------------------|
| 1. Specimen          | 2. Reference electrode |
| 3. Counter electrode | 4. Potentiometer       |
| 5. Ampere meter      | 6. Tube                |
| 7. Nozzle            | 8. Water pump          |
| 9. Air pump          | 10. Filter             |
| 11. Valve            | 12. Drain water tank   |

**Fig. 2.** Schematic diagram of erosion-corrosion test apparatus.

2) 浸蝕-腐蝕에 미치는 固體粒子-液2相流의 영향

天然海水中에서 固體粒子-液2相流가 浸蝕-腐蝕舉動에 미치는 影響을 考察하기 위하여, 直径이 약 2.0mm 이하인 토사 5홉을 天然海水 35리터 中에 혼합시켜 實驗하였으며, 이 實驗에서는 空氣를 주입하지 않았다.

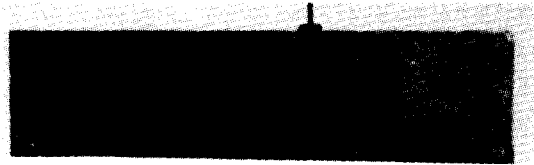
結果 및 考察

캐비테이션 浸蝕-腐蝕의 損傷樣相

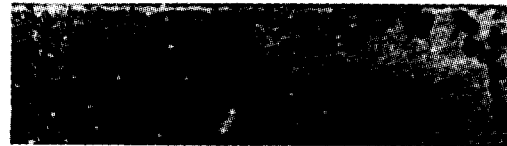
Photo. 1은 空氣를 주입하지 아니한 比抵抗  $\rho=25 \Omega \cdot cm$ 인 天然海水 中에서 浸蝕-腐蝕에 의한 시험편의 損傷樣相을 보인 것이다. 여기서 Photo. 1(a)는 노즐선단으로부터 噴射되는 溶液이 직접 충돌되는 面의 손상이고, Photo. 1(b)는 噴射溶液이 충돌되는 背面의 손상이며, Photo. 1(c)는 측면의 손상을 나타내고 있다.

Photo. 1(a)의 경우, 噴射 溶液이 충돌되는 표면에는 孔蝕이 거의 나타나지 않지만 충돌표면의 주위에 미세한 孔蝕이 散在되어 있다. 이것은 噴射 溶液이 試驗片에 충돌되면서 작은 氣泡로 破壞되고, 이 氣泡가 流體충돌표면의 주위에 衝擊되면서 生成되는 浸蝕-腐蝕의 원인이라 생각된다. Photo. 1(b)의 경우, 噴射溶液이 충돌되어진 試驗片의 背面에서는 충돌표면에서의 孔蝕보다 더 많은 孔蝕이 나타나 있고, 이 孔蝕은 더 크고 더 깊게 成長되어 있으므로 이 손상면이 침식-부식에 가장 민감함을 알 수 있다. 이와 같이 試驗片 背面에서 孔蝕이 더 많이 成長된 원인은 주로 試驗片 背面에서 靜壓의 低下에 따른 캐비테이션現象이 발생되면서 崩壞되는 氣泡數가 많고 氣泡崩壞에 따른 衝擊壓이 크기 때문이라 思料된다. Photo. 1(c)의 경우, 試驗片 측면에 成長된 孔蝕은 충돌면에 生成된 孔蝕보다는 크지만 試驗片의 背面에 成長된 孔蝕보다는 더 작게 나타나고 있으며, 試驗片의 측면에 나타난 孔蝕은 試驗片에 流體충돌시에 形成된 氣泡와 背面에서 캐비테이션 現象으로 形成된 氣泡崩壞에 따른 衝擊의 일부만 작용함으로써 生成된

impingement face of fountain-jet



a) The front of specimen to fountain-jet ( $\rho=25 \Omega \cdot cm$ )



b) The front of specimen to fountain-jet ( $\rho=25 \Omega \cdot cm$ )



c) The side of specimen to fountain-jet ( $\rho=25 \Omega \cdot cm$ )

Photo. 1. Damaged appearance of erosion-corrosion(t=145 hour).

浸蝕-腐蝕樣相이라 생각된다.

腐蝕溶液條件에 다른 氣-液2相流의 浸蝕-腐蝕舉動

Fig. 3은 比抵抗값  $\rho=25 \Omega \cdot cm$ 인 天然海水와  $\rho=15,000 \Omega \cdot cm$ 인 蒸溜水인 부식용액 條件下에서 空氣를 주입한 氣-液2相流가 浸蝕-腐蝕에 의한 試驗片의 무게감소량  $W_t(mg)$ 에 미치는 影響을 나타낸 것이다.

空氣를 주입한 氣-液2相流 中에서 浸蝕-腐蝕에 의한 무게감소량  $W_t$ 는 空氣를 주입하지 아니한 溶液 中에서의  $W_t$  보다 어느 溶液條件하에서도 더 증가되고 있다. 또한 時間  $t$ 가 경과함에 따라 浸蝕-腐蝕에 의한 무게감소량  $W_t$ 는 空氣를 주입하지 아니한 溶液中에서 보다 氣-液2相流 中에서 점차 더 크게 증가되는 경향이고, 이와 같이 氣-液2相流가 浸蝕-腐蝕에 미치는 영향이 크게 증가되는 경향은 蒸溜水中에서 보다 강전해질인 天然海水中에서 더 민감하게 나타나고 있다.

Fig. 4는 氣-液2相流가 부식용액조건에 따른

캐비테이션 浸蝕-腐蝕거동에 미치는 영향을 좀 더 定量的으로 究明하기 위하여, 氣-液 및 固體 粒子-液2相流 中에서의 무게감소량에 대한 공기 나 모래입자를 주입하지 아니한 용액중에서의 무게감소량의 比를 式(1)에 의해 計算한 浸蝕-腐蝕의 感受性S를 나타낸 것이다.

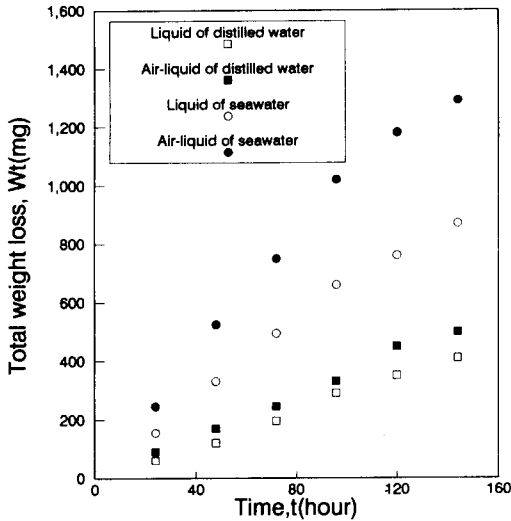


Fig. 3. Effects of air-liquid 2 phase flow on weight loss in seawater and distilled water.

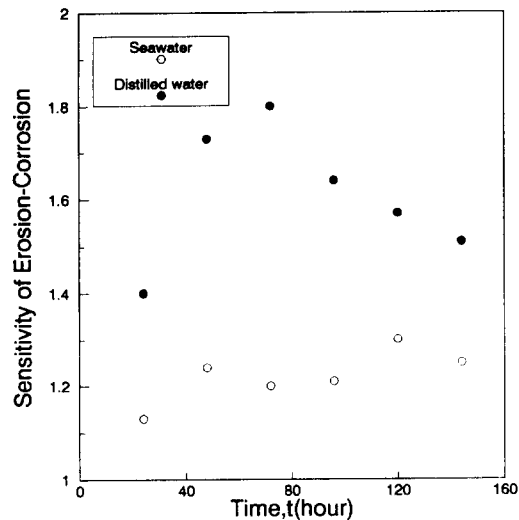


Fig. 4. Sensitivity of erosion-corrosion by air-liquid 2 phase flow in seawater and distilled water.

$$S = \frac{\text{氣, 固體粒子-液2相流中에서의 무게감소량}}{\text{용액中에서의 무게감소량}}$$

Fig. 4에 이하면  $\rho=25 \Omega \cdot \text{cm}$ 인 天然海水 中에서 氣-液2相流가 침식-부식의 감수성에 미치는 영향은 비저항  $\rho=15,000 \Omega \cdot \text{cm}$ 인 蒸溜水 中에서 보다 전반적으로 더욱 민감한 양상을 보이고 있다. 이와같이 해수중에서 약 50-80시간에 浸蝕-腐蝕 感受性이 높게되는 양상은 초기에는 공기의 충격 및 캐비테이션에 의해 발생한 기포의 파괴에 따른 기계적인 영향으로 침식이 발생하다가 孔蝕이 성장되면서 부동태 피막이 파손되어 양극활성화됨으로써 약 50-80시간에 이르면 孔蝕部의 전기화학적 부식을 촉진시키기 때문이며, 이후 점차 감수성이 감소하는 이유는 孔蝕部가 재부동태됨으로써 부식활성화가 억제되는 원인으로 사료된다.

#### 浸蝕-腐蝕거동에 미치는 氣-液 및 固體粒子-液 2相流의 영향

Fig. 5는 空氣를 주입하지 아니한 天然海水와 天然海水에 空氣를 주입한 氣-液2相流 그리고 天然海水 中에 토사를 주입한 固體粒子-液2相流에서 實驗時間에 대한 浸蝕-腐蝕에 의한 試驗片의 무게감소량  $W_t(\text{mg})$ 를 나타낸 것이다.

浸蝕-腐蝕에 의한 무게감소량은 空氣를 주입하지 아니한 天然海水 中에서 보다 氣-液2相流와 固體粒子-液2相流에서 더 크게 나타나고, 氣-液2相流가 무게감소량에 미치는 영향이 가장 민감하다. 그러나 空氣를 주입하지 아니한 天然海水 中과 氣-液2相流 中에서의 무게감소량이 증가되는 경향은 약 100時間 이후부터 약간 둔화되지만 固體粒子-液2相流 中의 무게감소량이 증가되는 양상은 거의 직선적으로 증가되고 있다.

Fig. 6은 캐비테이션 浸蝕-腐蝕에 의한 무게감소량에 미치는 氣-液 및 固體粒子-液2相流의 영향을 좀 더 定量的으로 究明하기 위하여, 式(1)에 의해 計算한 浸蝕-腐蝕의 感受性 S를 정리하여 나타낸 것이다.

동일한 천연해수중에서 氣-液2相流가 浸蝕-

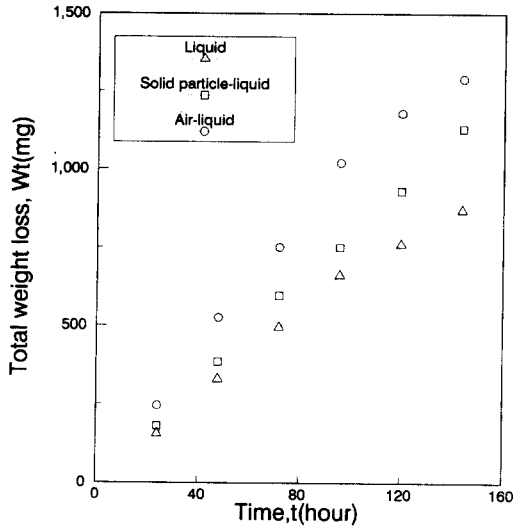


Fig. 5. Effects of air-liquid and solid particle-liquid 2 phase flow on weight loss in seawater.

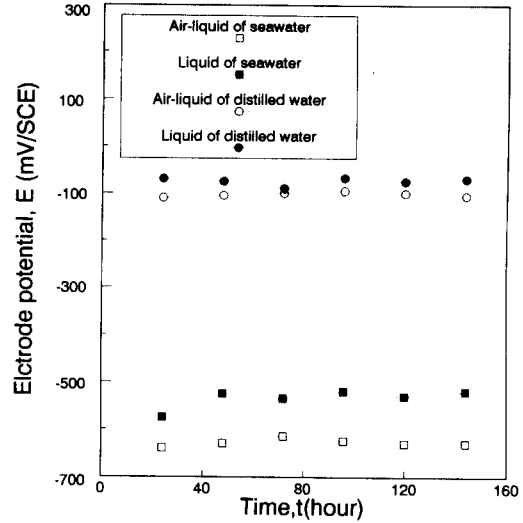


Fig. 7. Effects of air-liquid 2 phase flow on electrode potential in seawater and distilled water.

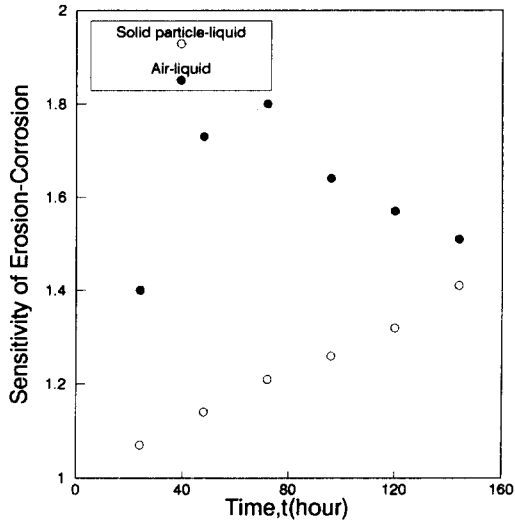


Fig. 6. Sensitivity of erosion-corrosion by air-liquid and solid particle-liquid 2 phase flow in seawater.

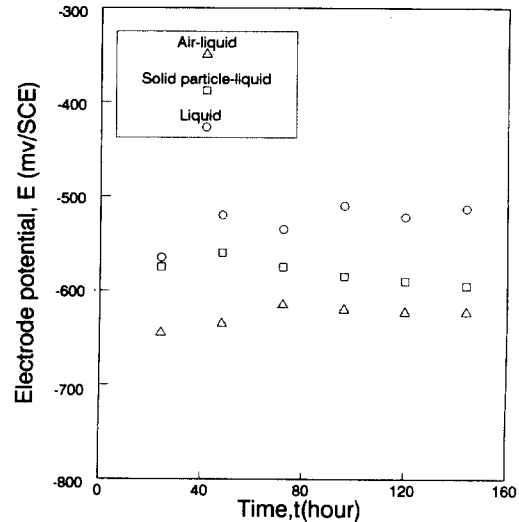


Fig. 8. Effects of air-liquid and solid particle-liquid 2 phase flow on electrode potential in seawater.

腐蝕의 감수성에 미치는 영향은 固體粒子-液2相流가 浸蝕-腐蝕의 감수성에 미치는 영향보다 더 민감한 양상을 나타내고 있다. 그러나 氣-液2相流가 浸蝕-腐蝕의 감수성에 미치는 영향은 초기에 나타나다가 시간이 경과함에 따라 점차 감소하

는 경향이고 固體粒子-液2相流가 浸蝕-腐蝕의 감수성에 미치는 영향은 시간이 경과함에 따라 거의 직선적으로 증가하는 경향을 보이고 있다. 이러한 경향의 원인은 氣-液2相流 中에서는 초기에 산소에 의해 부식반응이 활성화되어 침식-부식

감수성이 민감하다가 점차 부동태피막이 형성되면서 부식활성화가 억제됨과 아울러 공기가 孔蝕 중에 침입하여 캐비테이션 기포의 충격완화의 역할을 하기 때문에 浸蝕-腐蝕 감수성은 둔화되고<sup>18)</sup>, 固體粒子-液2相流 中에서는 固體粒子가 공기와 같은 역할을 할수 없으며 오히려 固體粒子인 모래가 시험편의 표면을 마모시키는 역할을 하기 때문인 것으로 思料된다.

#### 浸蝕-腐蝕舉動에 미치는 電氣化學的 特性

Fig. 7과 8은 浸蝕-腐蝕에 의한 무게감소량 및 감수성에 미치는 氣-液2相流와 固體粒子-液2相流의 影響외에 腐蝕활성화에 따른 電氣化學的인 측면을 考察하기 위하여, 각 환경조건에 따른 전극전위(부식전위)의 거동을 정리하였다.

Fig. 7은 天然海水(25  $\Omega \cdot cm$ ) 中과 蒸溜水(15,000  $\Omega \cdot cm$ ) 中에서 試驗時間  $t(hour)$ 에 대한 浸蝕-腐蝕에 의한 試驗片의 電極電位(腐蝕電位)  $E(mV/SCE)$ 에 미치는 氣-液2相流의 영향을 나타낸 것이다.

天然海水 中이나 蒸溜水 中에서 다같이 空氣를 주입하지 아니한 溶液 中에서 보다 氣-液2相流 中에서의 電極電位가 낮게 되는 樣相(卑電位化)을 보이고 있으며, 이와 같이 氣-液2相流 中에서의 電極電位가 卑電位化되는 樣相은 蒸溜水 中에서 보다 天然海水 中에서 더 민감하게 나고 있다. 그리고 天然海水 中에서 SB41의 腐蝕電位는 蒸溜水 中에서 SB41의 腐蝕電位 보다 더 卑電位化되고 있음을 알 수 있다. 이와같이 氣-液2相流 中에서의 腐蝕電位가 卑電位化되는 경향의 원인은 氣-液2相流 中에 포함된 氣體(空氣)에 의한 衝擊 및 캐비테이션에 의해 氣泡破壞에 따른 機械的인 영향뿐만 아니라 氣-液2相流 中에 포함된 空氣 中의 酸素가 電氣化學的인 腐蝕활성화에 미치는 영향도 병행해서 일어나기 때문인 것으로 생각된다<sup>19)</sup>.

Fig. 8은 空氣나 모래를 주입하지 아니한 天然海水 中과 天然海水인 氣-液2相流 및 固體粒子-液2相流 中에서 浸蝕-腐蝕에 의한 試驗片의 電

極電位舉動을 나타낸 것이다.

天然海水인 氣-液2相流 및 固體粒子-液2相流 中에서 浸蝕-腐蝕에 의한 試驗片의 電極電位는 空氣나 모래를 주입하지 아니한 天然海水 中에서의 전극전위보다 더 卑電位化되고, 氣-液2相流 中에서 전극전위가 가장 낮게 나타나고 있으나 天然海水인 氣-液2相流에서는 전극전위가 약 50시간 이후 부터 안정상태이지만 天然海水인 固體粒子-液2相流 中에서 전극전위는 약 50시간 이후 부터 점차 낮아지는 경향을 보이고 있다. 이와 같이 氣-液2相流 中에서 전극전위가 가장 낮게 나타나는 원인은 空氣 中에 포함되어 있는 산소에 의한 酸素濃淡電池 때문인 것으로 생각된다.

Fig. 7과 Fig. 8의 전극전위의 결과에 의하면 Fig. 3과 Fig. 4에서 氣-液2相流와 固體粒子-液2相流가 浸蝕-腐蝕에 의한 무게감소량 및 감수성에 미치는 影響과 유사한 거동을 보이고 있음을 알 수 있으며, 이러한 전극전위의 결과는 캐비테이션 침식-부식거동에 미치는 기계적인 영향뿐만 아니라 전기화학적인 영향인 부식의 영향이 미치고 있음을 추정할 수 있다.

## 結 論

水噴射의 캐비테이션 浸蝕-腐蝕實驗裝置에 의해 空氣를 주입하지 아니한 溶液, 氣-液2相流 및 固體粒子-液2相流의 環境條件下에서 軟鋼(SB41)의 浸蝕-腐蝕특성에 관한 研究를 한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) 氣-液2相流 中에서 浸蝕-腐蝕에 의한 무게감소량은 空氣를 주입하지 아니한 溶液 中에서 보다 더 증가되었다.

2) 浸蝕-腐蝕의 감수성에 미치는 氣-液2相流의 영향은 蒸溜水 中에서 보다 天然海水 中에서 더 민감하였다.

3) 空氣를 주입하지 아니한 溶液 中에서 보다 氣-液 및 固體粒子-液2相流 中에서 浸蝕-腐蝕에 의한 腐蝕電位는 더 卑電位化되었다.

參考文獻

- 1) Trethewey, K.R. and Chamberlain, J. (1988) : Corrosion(for students of science and engineering), Longman Scientific & Technical, 153-156.
- 2) 松村倉信, 岡 良則(1982) : 腐蝕に及ぼすエロージョンの影響, 防蝕技術 31, 國際文獻印刷社, 67-72.
- 3) Talks, M.G. and Moreton, G.(1981) : Proc. ASME Symp. Cavitation Erosion Fluid System, 139.
- 4) Ailor, W.H.(1980) : Engine Coolants Testing, State of the Art, ASTM STP 705, 81-101.
- 5) 日本材料學會(1988) : 材料強度學, 進行印刷出版, 173-175.
- 6) 日本潤滑學會(1985) : 潤滑故障例と その對策, 養賢堂, 16.
- 7) 松村昌信, 岡 良側, 植田雅也(1990) : キャビテーション攻撃を受ける金屬材料の壽命豫測, 日本防食技術 39(10), 550-555.
- 8) 加藤洋治(1979) : キャビテーション, 日本振書店, 1.
- 9) 渡邊 豊, 高橋秀明(1988) : 炭素鋼の氣液2相流中エロージョン・コロージョンにおけず電氣化學的作用, 日本防食技術 37(2), 69-74.
- 10) Sekine, I. and Tanaki, T.(1991) : Erosion-corrosion Behavior of Copper Alloy under Flowing Water Condition, Zairyo to Kankyo 40(8), 527-532.
- 11) Zahavi, J. and Wagner, H.J.(1980) : Characterization of erosion-corrosion process, The Metallurgical Society of AIME, 226-239.
- 12) Thiruvengadam, A.(1982) : Erosion, Wear, and Interfacis with Corrosion, ASTM STP 567, 219-238.
- 13) Matsumura, M. and Oka, Y.(1982) : Influence of Erosion on Corrosion, Boshoku Gijutsu 31(2), 67-69.
- 14) 林祐助, 李鎮烈(1991) : 캐비테이션에 의한 베어링材의 腐蝕·浸蝕舉動에 관한 研究 (1), 韓國腐蝕學會誌 20(4), 285-289.
- 15) 梅村文夫, 松創伸二, 川本輝明(1989) : 炭素鋼とステンレス鋼のエロージョン・コロージョンに關する電氣化學的考察, 防食技術 36(10), 628-634.
- 16) 岡 良則(1990) : 固體粒子衝突エロージョンの材料硬度依存性, 日本材料と環境 39(11), 610-616.
- 17) 林祐助, 李鎮烈(1992) : 內燃機關用 슬라이드 베어링材이 캐비테이션 浸蝕舉動과 腐蝕影響 및 윤활유의 舉動에 관한 研究, 어업기술 28(2), 171-183.
- 18) 伊藤伍郎(1982) : 日本機械工學全書 6, 96-97.
- 19) 伊藤伍郎(1982) : 日本機械工學全書 18, 78-80.