

初期 船舶 設計時 船體 粗度 및 防汚 塗料에 起因된 速力 損失 評價에 關한 研究

朴命圭* · 朴水松**

A Study on Speed Loss Estimation Due to Hull Roughness
And A/F Paint in Preliminary Ship Design

Myung-Kyu Park · Soo-Song Park

〈目 次〉	
1. 서 論	4. 선체 표면 조도의 손실
2. 선저외판의 도료	4. 1. Integral roughness penalty 해석
2. 1. 방호도료의 형태	4. 2. Local roughness penalty 해석
2. 2. 방호도료의 분류	4. 3. 실험법에 의한 해석
2. 3. 최근의 A/F 동향과 추이	5. 선체조도의 직접적 손실과 대책
3. 신체의 표면 조도	5. 1. 신조선의 경우
3. 1. 선체조도의 원인 분류	5. 2. 5년된 Oil tanker 경우
3. 2. 선체표면 조도 분석	6. 결 論

Abstract

Hull roughness due to corrosions of outer hull and had applications on outer hull paints was analyzed theoretically.

It's value which was gainable practically, was studied, and estimated power penalty formular corresponding to that value were reviewed.

Local roughness penalty and roughness texture penalty that paint manahers in ship yard can easily were compared and studied by dotting actual ships in the issued curves.

Losses and benifits of hull roughness & the specification choise of A/F paint which managers of ship maintenance were much interested in have been calculated through actual ships.

* 한국해양대학교 이공대학 조선공학과
** 대동조선(주)

The paper is illustrating that how much the specification choise and managing of A/F paint have effects on fuel consumption of ship in program.

It is urgently required that recent developed antifouling paints of new A/F generation should be adopted to new ship building by big shipping companies in view of the environmental protection and the economical maintenance of ships.

기호 설명

A/F	: ANTIPOULING PAINT	$Rt(50)$: MEAN ROUGHNESS BY PEAK TO TROUGH METHOD
ΔG	: FREE ENERGY CHANGE FOR AN ELECTRO-CHEMICAL REACTION	H_s	: SHAPE FACTOR
F	: FARADAY CONSTANT(96,500C/g. Mole)	K_A	: 허용조도 크기(AcCEPTABLE ROUGHNESS HEIGHT)
i	: CURRENT DENSITY(A/M ²)	ΔC_F	: ADDED DRAG COEFFICIENT DUE TO REOUGHNESS
M	: MOLECULAR WEIGHT(g)	C_{TS}	: $C_F + C_W + C_{AA}$ (C_W : 조파저항계수, C_{AA} : 공기저항계수)
z	: 금속의 원자가(VALENCY OF METAL)	K_B	: 외형 평균 조도 (BSRA ROUGHNESS, MEAN APPARENT ROUGHNESS)
U	: 유동 방향의 평균 속도	\bar{K}	: 평균 조도(1MM INTERVAL 일때)
$U\tau$: 전단 속도($\sqrt{\tau_w/\rho}$)	ΔU	: VELOCITY DEFECT IN LOGARITHMIC LAYER DUE TO ROUGHNESS
τ_w	: 경계면 전단응력	K_E	: EFFECTIVE ROUGHNESS PARAMETER
ρ	: 점성계수	ν	: 동점성 계수(KINEMATIC VISCOSITY)
K	: 조도의 크기(ROUGHNESS HEIGHT), 개별적	C_τ	: LOCAL SKIN FRICTIONAL COEFFICIENT
H	: A.H.R의 크기(A.H.R: AVERAGE HULL ROUGHNESS)	C_b	: BLOCK COEFFICIENT
λ	: 조도의 파장	δ	: BOUNDARY LAYER THICKNESS
α	: MODE OF DISTRIBUTION	S_w	: WETTED SURFACE
θ	: WIDTH OF DISTRIBUTION	R_n	: REYNOLD'S NUMBER
γ	: EULER 상수	$(\frac{U}{U_\tau})_R$: ROUGH AREA에서 속도분포
L	: LWL OF SHIP	$(\frac{U}{U_\tau})_S$: SMOOTH AREA에서 속도분포
G	: ROTTA'S SHAPE FACTOR (PRESSURE GRADIENT PARAMETER) ($G = \sqrt{\frac{2}{C_\tau} \cdot \frac{H_s - 1}{H_s}}$)	V_s	: SHIP SPEED(M/SEC)
C_F	: DRAG COEFFICIENT OF SMOOTH HULL	η_D	: PROPULSIVE COEFFICIENT
$M.A.A$: MEAN APPARENT AMPLITUDE	μ	: KARMANN 상사성 가설의 계수(=0.4)

1. 서 론

한 선박의 bunker 소모량에 영향을 주는 인자로 선체의 수선하부 hull roughness(조도)에서 기인되는 저항은 여러 학자들에 의해 규명되어져 왔듯이 long term 견지에서 관찰하면 weather condition보다 더 많은 비중을 차지해왔었다. 수선하부의 조도의 원인을 크게 2가지로 나누어 보면 영구적 roughness, 일시적 roughness로 분류할 수 있고 후자가 본 논문에서 주로 서술하려고 하는 영역이 될 것이다.

근년에들어 선체외판의 조도는 self-polishing/self-smoothing copolymer paint의 적용으로 많은 개선을 가져왔으나 아직도 conventional A/F 또는 long life A/F paint를 적용하고 있는 배가 상당수에 있기때문에 경제적인 투자측면도 함께 검토되어야 한다.

본 연구에서는 hull roughness의 영향에 대한 평가와 local hull roughness의 영향 그리고 장래의 hull paint maintenance에 대한 경제적 검토도 함께 해보았다. 따라서 초기 선박설계시 조선소에서 선주에 대해 보증 속도에 대한 Roughness의 영향을 평가하는데 도움이 될 것이며 현존선의 hull paint의 경제적 관리에도 상당한 도움이 될 것으로 사료된다.

2. 선저외판의 도료

Anti corrosion도장은 선체외판과 해수속의 산소와의 접촉을 막기위한 장벽으로 사용되어지고 여기서는 선체조도에 직접적 영향이 미치는 antifouling도장에 대해서 주로 언급하고자 한다.

2. 1. 방오도료의 형태

20세기 중반에는 생화학적 방오도료의 연구를 독일, 영국, 일본등 에서 해왔으며 이때 근대적 antifouling paint인 traditional antifouling paint가 개발이 된 셈이다. 선박의 외판 침수부(under water part)에 해양생물(동물성, 식물성)의 착생을 방지하기 위한 특성인 독성(아산화동 Cu_2O , 주석 Sn

등)을 함유하고 있으며 근래에 와서는 과다히 방출된 그 방오제의 독성이 해양생물의 성장과 살상 및 인체에 해를 입힌다하여 그 독성의 유기물의 1일 용출량도 규제하고 있는 실정이다.

방오제를 함유하고 있는 A/F paint의 필수불가결한 특징을 열거하면 독성(toxicity), 발수성(hydrophobic action), 탄성(elastic), 비고착성(unstationary phase), 저마찰성(low friction), 친수성(hydrophilic action)등이 될 것이다.

2. 2. 방오도료의 분류

1) Traditional antifouling paint

a) 용해성 Matrix형 (soluble matrix type)

Matrix가 해수중에 용해되어 방오제를 용출하게 된다. 방오도료의 도막은 해수에 침투 접촉되어 matrix가 용해되고 새로운 방오제층을 표출시키면서 방오력의 지속적 효과를 얻기위해 계속적으로 Matrix가 용해되도록 되어있다.

b) 불용해성 Matrix형 (insoluble matrix type)

방오제가 불용해성 Matrix의 막간에서 용출되고 고농도의 방오제를 함유하고 있는 막간에 해수가 침투하여 방오제가 Matrix를 소실시키지 않고도 용출시킨다하여 해수접촉형 불용해성 Matrix type 이라고도 말한다.

c) 일정 확산형 (constant emission type)

유기 주석 화합물을 함유하는 고용체를 형성하고 도막중 확산력이 있는 방오제가 해수중에서 표면으로 계속적으로 용출되어 방오성능을 평형하게 유지케한다.

2) Copolymer antifouling paint

a) 주석 마모형 (Self polishing type)

유기금속성 중합체 (Organic metallic polymer)의 칼복실기에 방오성능이 뛰어난 주석 화합물을 반응시켜 결합시킨 것으로 해수의 수류에 의해 표면층이 연마 또는 마모되어 이탈되면서 양호한 방오성을 나타낸다.

b) 자기 평활형 (Self smoothing type)

해수중 Na^+ 과 주석 및 아산화동을 함유한 공중

합체 (Copolymer)가 결합하여 부수적인 조직체로 수류와 함께 마모 이탈될때 상대적으로 조도 (Roughness)가 양호하지 않는 부위의 돌기에 마찰이 더 발생하고 더욱 마모시켜 선체의 Under-

water paint도막의 평활성을 증진 시켜주는 가장 대중적인 A/F paint이다. Fig 2.1에서는 Cu와 Tin 이 수용성 Polymer와 함께 해수중에서 이탈되면서 새로운 Cu와 Tin이 용출되는 것을 보여준다.

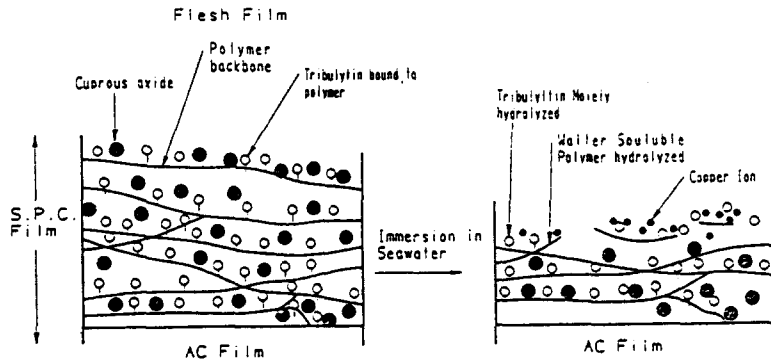


Fig 2. 1. Hydrolysis of self smoothing paint

3) Tinfree copolymer antifouling paint 근년에 들어 A/F paint의 주석(tin)에 대한 용출규제로 말미암아 종래 Copolymer의 주석 성분을 제거시키거나 규제조치 이내로 용출하게 하여 기존의 organic copolymer의 형태가 아닌 것으로 개발되어 자기 평활형에 버금가는 A/F로 시판되고 있다.

2. 3. 최근의 A/F 동향과 추이

오늘날 선사들이 널리 사용하고 있는 S.P.C.도료의 덕으로 상당히 Dry docking비용의 절감 효과를 보아왔지만 S.P.C.도료에 함유된 Tributyl tin의 뛰어난 방오성능의 이용은 선진국에서 부터 규제 입법화로 말미암아 점차 그 세대를 바꿔가고 있는 것이다. 제 3세대 S.P.C.로 Tin이 전혀들어 있지 않는 무공해 Type의 도료가 최근에 들어 생산되고 있는 실정이다. 그외에도 Silicon polymer type, Fluorinated polymer type등 부착되는 생물의 탈락을 쉽게하거나 Energy가 안정된 형태의 A/F polymer를 사용하여 생물의 부착을 어렵게하는 등의 방오형태가 개발되어 있다.

3. 선체의 표면 조도

선체의 표면에 돌출하여 있는 돌기가 선체에 흐르는 유체와 1차 마찰저항을 일으키고 층류 속에 존재하면 유체동력학적으로 매끈한 면의 효과를 내어 순수 점성저항만 발생하지만 선체외면에 노출되는 돌기의 그 한계 (30 μ m)를 넘어서고 선체주위의 유속이 어떤값 (하임계 속도)을 넘으면 난류 (Turbulent flow)가 발생되고 이 범위를 벗어난 조도를 상당한 Energy를 생성시키는 역할을 하게되는 것은 잘 알려진 사실이다.

$$[U/U\tau]_R = [U/U\tau]_S - \Delta U/U\tau \dots\dots\dots (3.1)$$

3. 1. 선체조도의 원인 분류

1) Plate waviness

외판면에 말의 갈비뼈 같이 튀어나온 늑골형상을 의미하며 마찰저항 크기에 $[1 + 17.3(h/l)^2]$ 정도를 곱한 정도로 나타내며 Shipbuilding quality standard에서 제한되고 있는 h/l값이 0.0025 이하이면

마찰저항의 증가는 무시될 수도 있기에 상선에서는 유체역학적 문제의 대상이 되지 않는다.

2) 용접선

3m/m이내의 Smooth한 돌출형의 Butt용접선으로 이루어지는 현재 조선용접법으로는 butt line의 길이를 보다더 길게하여 마찰저항을 감소시키는 방법이 최선이지만 조선공학법상의 여러 제약 때문에 구체적인 검토가 어려운 실정이다.

3) Paint 조도

선체 외판면의 수면하에 Paint를 적용할때 또는 선체의외판면에 Paint 적용후 Sea operating중 그 부위에 발생하는것으로 선체 마찰저항 증가의 대부분을 차지하고 있는 실정이다.그 원인으로는 다음에 열거하는 것들일 것이다.

부식, Flaking/Blistering, Cracking, Orange peel, Sagging/Running, 과도막, Fouling, Grit잔여물 부착, Mechanical damage, Coating잔여물 등이다.

3. 2. 선체표면 조도 분석

1) BSRA분석 (Peak-trough height, Rt(50)/M.A.A)

BSRA에서 개발된 Hull roughness analyser로 수면하 외판을 10개의 횡선(Grith)으로 나누고 각 10개의 면적내에서 선수미쪽은 적게 Mid-ship쪽은 많이 면적비로 4~12개의 위치를 정한다. 총 100개소를 Side와 Flat면적비로 나누어 설정한다. 같은 개소로 취했을때는 면적비의 가중치를 곱하면 된다.설정된 위치에서 50m/m정도의 Analyser로 Sampling을 취하고 각 위치마다 취한 곳의 평균값(MHR)을 구하고 그 값의 합을 취한 개소를 수로 나누는 BSRA분석에는 조도는 어떤 길이당에 나타나는 Profile의 크기에만 관계하므로 실제로 발생하는 Profile의 밀도와 형상, 각 측정개소의 조도 분포밀도는 무시한 것으로 된 것이며 또한 국부적인 기계적 손상 (Local mechanical damage)으로 발생된 부위가 측정개소로 포함될 경우 과도한 A.H.R(Average Hull Roughness) 추출 현상등으로 실제 선박의 A.H.R의 차이로 인한 마찰 저항과의 직접적 상관성을 갖게하기에는 불합리한 점이 많

아서 여러 방면으로 A.H.R추출값에 대해 학자들은 연구해왔다.

2) BSRA check의 통계학적 의미

BSRA gauge로 측정하는 시기는 선박 신조시 최종 외판 Painting후에와 몇년후 Dry docking할때 즉 입거 직후 또는 Dock out시에 측정을 한다. 그 결과를 앞서 설명한 방법으로 결과값을 Histogram으로 나타내면 Ungraded 최대(Maximum Up graded)와 최소(Minimum Down graded) 차의 확률 분포도를 나타내는 것이고 이는 극값(Extreme value)의 통계값이다. 이렇게 작업하면 신조시의 경우는 아주 적절하게 극값 분포도(Extreme value distribution, single EVD)를 잘 나타내고 있다. 극값 분포도의 폭을 작게하면 Paint된 표면의 형상이 아주 고르게 양호한 Painting작업이 되었다고 할 수 있다. 결국 폭(θ)는 표면형상의 Parameter로 볼 수 있다.

3) 파장(λ)의 적용

BSRA의 M.A.A(Meam Apparent Amplitade)는 외형적 평균 진폭으로 표현될 수 있으며 여기에 선택된 평균진폭의 크기는 무작위 추출된 개체의 크기일 뿐이지 Roughness의 형태를 결정하는데 아무런정보도 주지못한다. Rt(50)의 50m/m에서 가로 좌표에서 발생하는 진폭의 한 Cycle에 파장(λ)을 도입하고 Meam Apparent Amplitade가 발생하는 각 단위 파장당 Roughness의 크기를 Hi라

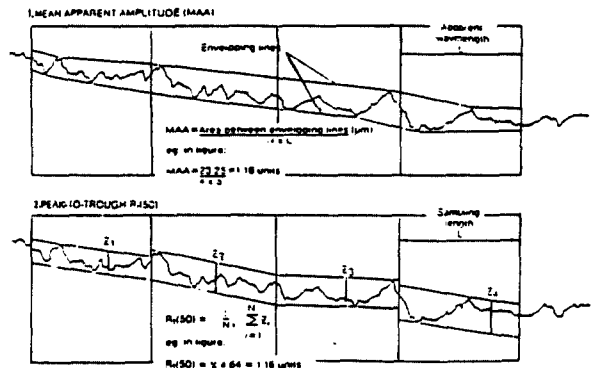


Fig. 3. 1. Roughness Sample

고 하면 Mean Apparent Amplitude의 크기는 $H = (1/n) \sum H_i$ 로 표시된다. 이때 H/λ 의 뜻은 roughness의 외형적 평균기울기 (Mean apparent slope)로 되고 그 값은 Roughness의 외형적 형태를 나타낸다. 또 $1/\lambda$ 는 Roughness의 주파수(단위 거리당, inch or cm)를 나타내며 그 값은 작으면 wavy한 것으로 판명되고 H/λ 의 큰 값의 의미는 표면이 모래 조도와 같이 거칠다는 뜻이다.

4. 선체 표면 조도의 손실

일반 상선에서 선체 전저항의 75%→90% 정도가 점성저항이며 선박의 Propeller추력, Engine power, 선박속력등이 충분히 엄밀하게 측정이 되어지지도 않을 뿐더러 Propeller와 선체표면 조도의 영향을 정확히 분리해내지도 못하고 있는 실정이며 이에 대한 연구가 최근까지 활발히 진행되고 있다.

또한 신조선에서 측정된 Roughness의 크기 자체만으로는 문제가 아니라 어떠한 Roughness의 형태의 질적(Quality)인 문제가 차후 운행상 문제 발생소지 가능성을 심각하게 만드는 것 일 수도 있다.

아직도 일부 Paint 제조업체들의 상업적 수계산에 사용되고 있는 "Lackenby's rule of thumb"의 수정용으로 Roughness의 크기 (Height)에만 관련된 식이 1978년 ITTC와 1984년 17차 ITTC에 각각 추천안이 나왔을 뿐 문제점이 있는 ITTC 공식에 대한 언급을 더이상 않고 있으며 그후 계속 연구 발표되고 있는 실정이다.

$$10^3 \Delta C_F = 105(K/L)^{1/3} - 0.64 \dots (4.1, 1978 ITTC)$$

$$10^3 \Delta C_F = 44[(K/L)^{1/3} - 10 R_n^{-1/3}] + 0.125 \dots (4.2, 1984 ITTC)$$

1984 ITTC식도 선속을 감안하였다고 하더라도 동일 선속의 동일 Roughness height를 갖는 선박은 동일한 ΔC_F 를 갖는다는 불합리성을 배제할 수가 없는 식임에 틀림없다. Fig. 4.1을 참조하면 상기

ΔC_F 는 높은 AHR의 값을 가진 선박에는 적용할 수 없다는 것을 알 수 있다.

$\Delta P = (V_s/\eta_D) \Delta C_F (1/2) \rho S_w V_s^2$ 로 동력 손실을 표현할 수 있으므로 동력손실율은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$(\Delta P/P) \times 100\% = (\Delta C_F/C_{TS}) \times 100\% = (1/22.7 C_{TS}) [100(K/L)^{1/3} - 10 R^{-1/3} + 0.284] \dots (4.3)$$

그러나 상기식들은 실제 선박의 수면하의 가장 큰 Particular인 C_b , 그리고 Roughness의 형태(Texture), 분포된 상태(Distribution), 선박의 속력등에 따라 다양하고 복잡한 형태를 나타내는 인자들을 고려하지 않고 있으므로 실제 형상의 실험과 수리적 계산후 가장 적절하고도 적용할 수 있는 정도의 결과를 추출하는 것이 현실적인 것이다.

4. 1. Integral roughness penalty해석

1) Roughness의 형태(Texture)

BSRA의 Rt(50)의 M.A.A의 방식에는그 Roughness의 구조나 치밀성은 전혀고려되지 않고 외견상 크기에만관계되어 있고 그 값들의 평균치는선박의 신조선에 직접 사용될 수 있는 데는 한계가 있다. 그 구조 형태를 다루기 위한 Parameter를 채택해야되었다.

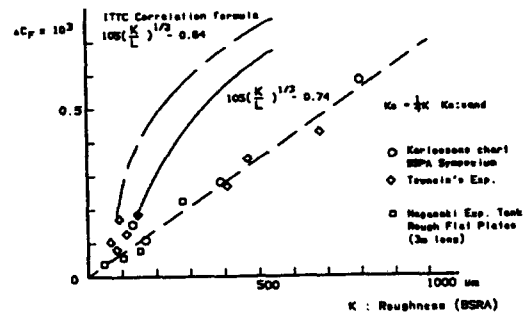


Fig. 4. 1. Relationship between ΔC_F and Roughness

흐름에 평행히 둔 평판에 어떤 유속보다 큰 크기의 흐름이 있으면 난류층 흐름이 형성되고 평판 면에서 어떤 지점 δ되는 곳의 전단속도 분포를 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$U/U_r = C + (1/U) \ln(U\delta/v) \dots\dots\dots (4.4)$$

상기식에서 벽면 Roughness가 발생된 충분히 많은 갯수의 지점거리를 K, K_1, K_2, \dots 로 정의하고 texture parameter $m = K/K_1, K_1/K_2, \dots$ 으로 정의하면 상기식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$U/U_r = f(U\delta/v, U_r K/v, m) \dots\dots\dots (4.5)$$

Roughness의 texture parameter m을 사용한 것으로 흔히 쓰이는 속도 손실 식으로 Grigson¹⁹⁾은 다음과 같은 실험식으로 표현했다.

$$\Delta U/U_r = A \cdot \ln\{1 + (1/m) \cdot (U_r K/v)\} \dots\dots\dots (4.6)$$

상기식은 Texture parameter의 값을 취한 것으로 그다지 복잡하지 않는 형태이나 실제로 BSRA Rt(50)의 방식을 취급한 것이다. 따라서 Rt(50)의 치밀성의 부족에 대해 언급이 없는 실정이다. Rt(50)의 각 개소에 측정과장($\lambda \text{mm} \leq 50 \text{mm}$)범위에서 측정된 K_1 값을 취하면 가값이 50mm일때 Rt(50)의 $K_B = K$ 가 된다. 이렇게 하면 선체표면에 일반적으로 허용되는 K_A 를 초과하는 Rt(50)의 값에 따라 어떠한 속도 손실을 유발시키는가를 검토할 수 있게 된다.

$$K_E = (K/\lambda)_1 (K_B - K_A) \dots\dots\dots (4.7)$$

여기서 $(K/\lambda)_1$ 은 $\lambda = 1 \text{mm}$ 일때의 K 값이다. 상기의 유효조건 계수 (Effective roughness parameter)를 사용하여 실험한 결과가 식(4.8)에 나타난다.

$$\Delta U/U_r = 2.43 \ln(1 + U_r K_E/v) \dots\dots\dots (4.8)$$

2) 점성 저층 형상 계수(Viscous sublayer shape factor)

Smooth한 표면에서의 전단 속도는 Clauser curve(Clauser function)는 다음과 같이 표현되는데 이 실험식은 $10^6 \leq Rn \leq 10^7$ 에서는 잘 맞는다.

$$U/U_r = 2.43 \ln(U\delta/v) + 4.9 \dots\dots\dots (4.9)$$

그러나 Roughness가 발전된 선체표면에는 경계층에 법선 방향의 압력이 존재하고 그 부근의 속도 변화량 (Velocity shift)에 따라 다른 값으로 나타낸다. 이것을 형상계수 H_s 라고 하여 U/U_r , 또는 $2/C_r$ 의 함수로 줄 수 있고, Rottas shape parameter G (Pressure gradient parameter)로 나타낼 수 있다.

$$H_s = 1/(1 - G\sqrt{2}/C_r) \dots\dots\dots (4.10)$$

평판의 마찰저항은 아래 식 (4.11)과 같이 나타낼 수 있고 속도 손실은 식 (4.12)과 같이 된다.

$$\sqrt{2}/C_r = A \ln(U\delta/v) + B \dots\dots\dots (4.11)$$

$$\Delta U/U_r = \sqrt{2}/C_{r'} - \sqrt{2}/C_{r_s} \dots\dots\dots (4.12)$$

3) Block coefficient

선박의 수면하의 형상적 특징을 나타내는 C_b 값 외에도 여러가지가 있으나 Integral한 계수는 C_b 로 볼 수 밖에 없으며 C_b 의 값도 넣어 함수로 표현하면,

$$\Delta C_F = (K_A, K_B, R_n, C_b) \dots\dots\dots (4.13)$$

이 되고 ΔC_F 를 풀기 위해 회귀분석법과 다항식 생성함수를 적용해야 하며 H.Walderhaug는 아래의 식으로 해석했으며 이 식은 앞서의 조건 C_b, K_E 값들을 사용하여 계산했다.¹²⁾

$$10^8 \Delta C_F = 0.5(10^6 K_E/L_{WL})^{0.2} [1 + \{(C_b - 0.75)/0.7\}^2] \{\ln(1 + U_r K_E/v)\}^{0.2} \dots\dots\dots (4.14)$$

Table 4.1

SHOOTH AREA (% Sw)		CASE C의 ΔC_F 에 비해 감소된 C_F 의 값
CASE A	29.99	0.105×10^3
CASE B	29.98	0.119×10^3

Table 4.2

	$K_B(\mu\text{m})$	$\bar{K}(\mu\text{m})$	C_F 의 증가 $\times 10^3$
CASE A	400	80	0.700
CASE B	200	80	0.325
CASE C	400	40	0.344

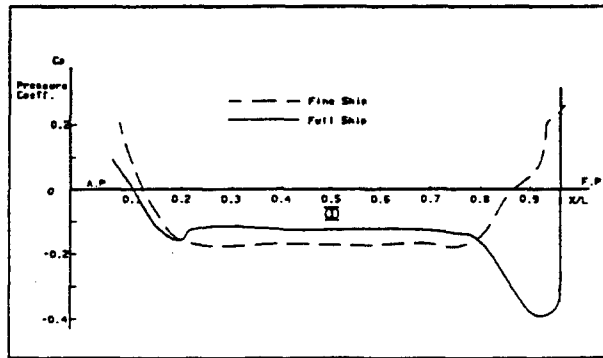


Fig. 4.2 Pressure gradient of boundary layer

4. 2. Local roughness penalty해석

선박의 외판 전체에 걸쳐 Roughness의 형태, 크기, 선박의 수면하 특성, 선박의 속력등이부가저항 (Added drag, ΔC_F)에 어떻게 영향을 미치는가를 검토해 보았다. 국부적인 Roughness 가 어떤 분포로 배치되었는가 그리고 어떠한배치가 어떻게 영향이 미치는가를 파악해야 한다. 그래서 Table 4.1와 같은 Parameter를 가진 동형선 A(선* 선박의 선수부에서 0.25LBP에의 거리까지 수면하부를 Smooth하게 하고 그밖의 부위는 거칠게한 형태)과 B선(* 선수부에서 0.125LBP 에의 거리와 선수부에서 0.625LBP 점과 0.75LBP 점에 이르는 부위는 Smooth하게 하고 기타 부위는 A 선과 동일 형태의 거칠기를 갖게한 형태)을 실험한 결과 같은 면적의 같은 크기의 Roughness를 가진 선박중에서도 A의 경우와 같이 그 분포가 집중되지 않은 선박이 저항으로 부터 효과적이라고 할 수 있다. 또 역으로 2개의 짧고 Smooth한 조도대역을 가진 경우가 1개의 같은 크기의 긴 Smooth한 조도대역을 가진 경우보다도 유리하다는 것이다. Table 4.2 에서도 볼 수 있듯이 K_B 와 K 중에서 ΔC_F 에 미치는 영향이 큰것은 역시 K_B 이다. K 의 변화량은 미소의 ΔC_F 변화에 그친다.

Fig. 4.2, Fig. 4.3에서도 읽을수 있듯이 C_D 값이 상대적으로 큰 비대형 선박의 선수부 압력이낮아 선수부 Roughness 증대가 곧 마찰저항의 증대로

바로 나타내지 못하고 있으며 선미부에서의 압력 증대는 세장형이나 비대형선이나같이 압력이 높아지는 관계로 저항증대의 중요한 구역임을 보인다. 또 선박의 길이에 따르는 유선과 마찰 저항 계수와의 관계에서도 Fig.4.4를 보면 수면 근처 부근의 Roughness와 Bilge 부근의 Roughness에 대한 속도의영향은 선수부근에서 거의 선미부근 까지는 변화가 없으나 선미 A.P부근 수선면 근처의 Roughness는 세심한 주의를 할 필요가 있다.

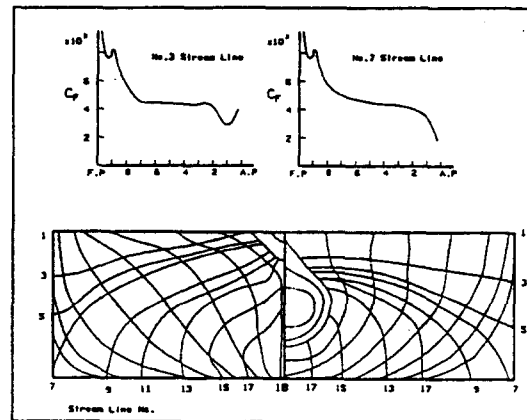


Fig 4.3 Drag coefficient

4. 3. 실험법에 의한 해석

앞에서도 검토하였듯이 부가항력의 발생은 Roughness자체의 크기뿐 아니라 그것의 밀도, 형

상, 선박의 형태에서도 기인된다고 밝혀졌다. 즉 아주 중요한 것으로 Roughness의 특성이 부가항력에의 영향력이 지대함을 나타내었다. Model test에서 추정된 저항과 실제 선박의 성능 사이에 상관계수(Correlation factor)를 설정해서 ITTC저항공식이 발전되었고 그 공식이 선박의 속력과 추력의 계측에 근거를 두었기 때문에 역시 실험적, 경험적인 것이며 이 공식 또한 실측된 Roughness의 값과 선박의 속력, 조도 형태에 부가항력의 발생원인을 두었던 것이다. 실제 거친 표면에 대한 유체동력학적 영향을 Momentum integral equation으로 수리적인 해석 방법은 매우 어려운 일이기 때문에 실험에 의한 방법을 동원하고 여기서 얻은 Data를 Full scale의 선박의 정확한 값으로 환산시키면 Roughness에서 발생된 마찰저항의 정밀한 증가값을 구할수 있을 것이다. 1986년 Sandefjord가 Marintex과 같이 Flume duct를 이용하여 길이 2M 폭 15Cm의 모형 10개를 표면에 실제 선박의 외판에 발생될 수 있는 Roughness shape를 만들어 실험한 결과, Fig. 4.4가 Roughness모형과 분포에 대한형상이며 Fig. 4.5가 Roughness에 의해발생되는 부가항력의 크기를 선박의 LWL별로 나타낸 것이다. 이 실험의 결과를보면 부가항력의 크나큰 증가를 발생시키는 Fig. 4.5는 그 원인이 Paint 적용시 발생된 것들과 Sagging에 의한 과도한 Spray의 Peak인 것이며, 또 특이할만한것은 아

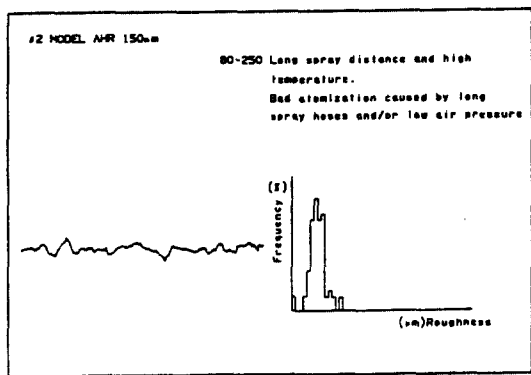


Fig. 4.4 Roughness texture and A.H.R

주 높고 부드러운 형태를 보이는 Roughness를 가진 모형은 비교적 작은 크기의 부가항력 증가로 나타나는 것이다.

모형 #2는 150 μ m 정도의 A.H.R으로 신조선가장 혼한 형태의 모형이다.

Fig. 4.5의 #2 Model은 신조선에서 흔히발생되는 크기의 AHR이기 때문에 여기에1984 ITTC의 Curve와 실적선 열 척의Particular를 식 (4.14)을 이용하여 Dotting을 했다. ITTC식은 속력에 따라 너무 급격한 값을 나타내고 있어 신조선의 경우에는 과대한 값의 도출될 수 있다.

특히 선속이 높은 15Kts '이상에서 적용하기에는 과다한 것으로 분명히 판명된다.

식 (4.14)를 이용하여 Dotting한 값은실제 사용하기에는 어려운 KE값이 적용되었고 일반 Yard에서는 얻을 수 없는 수치이기에 Typical Sample $\lambda = 1.5 \sim 2.0$ m/m로 A.H.R.을 적용하였고⁹⁾ 그렇게 얻은 값은그 선박의 Roughness texture의 기울기값을 정확히 나타내기 어렵기 때문에 약간작은 값을 나타내었다고 볼 수 있다.

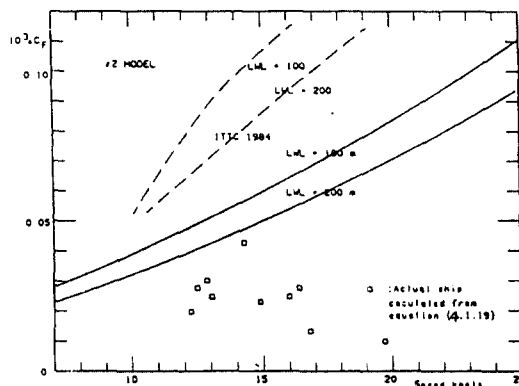


Fig. 4.5 Increment in the friction coefficient

실제 Fig 4.1의 Dr. Townsin의 실험값은여기에 거의 일치하고 있는 것을 발견할수 있다. 중소형선(LWL : 2/100)의 경우에 ΔC_f 의 값이 더 높이나

타나는 이유는 Roughness의 절대크기가 동일하더라도 선박의 길이에 비해 K/L값이 크기 때문이고 따라서 중소형선의 신조시 Roughness의 BSRA 권고치인 125 μ m보다 훨씬 낮은값에 존재해야 함은 당연하다.

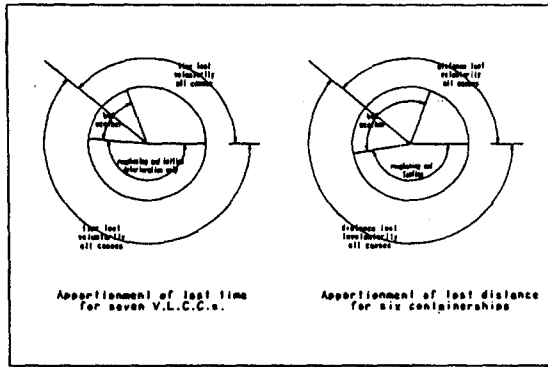


Fig. 5.1 Speed loss in operation

5. 선체조도의 직접적 손실과 대책

Fig. 5.1의 Towsin에 의해 조사되었던 결과에서 보듯이 대부분의 항해손실(시간, 거리)중에서도 악천후 (Bad weather)에 의한 손실보다 선체 외판면의 Fouling과 Roughening에 의한 손실이 훨씬 더 많으며 이것은 선체 외판면의 두가지 손실요인의 연료손실과 더불어 발생하는 항해거리 및 항해시간 손실이 전항해 거리 (연간)으로 따져 상기 Fig.5.1중에서 각각 손실시간 9.9%와 손실거리 1.42%가 발생되는것으로 조사되었다. 앞서의 검토에서도 보았듯이 여러가지의 문제점이있는 외판면의 조도를 어떻게 관리하는 것이 긴 배의 수명으로 보아 가장 효과적이고도 가장 경제적으로 관리하는 것인가를 선박관리 전량상 검토해 보자.

다음에 모델화가 쉬운 공시선을 선택하여 시물레이션을 해보았다.

-Model Ship "Oil Tanker"

-Ship's parameter

Deadweight	: 9,800Tons class
Speed (s)	: 14.7Knots(At full load)
D/D interval	: 24Months
Operational days	: 180Days/Year
Fuel consumption	: 21.5Ton/Day
Fuel price	: 200 \$ /Ton

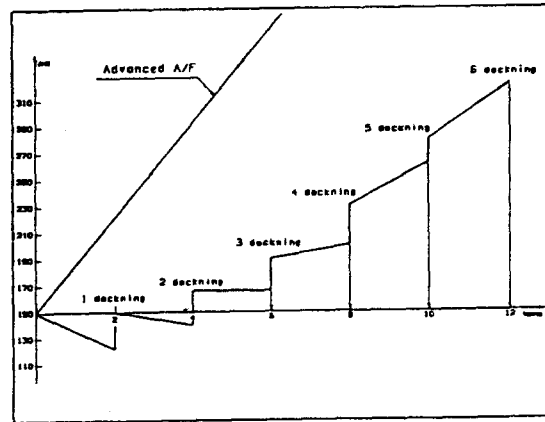


Fig. 5.2 Development of A.H.R for six docking interval

5. 1. 신조선의 경우

1) Advance A/F(재래식 Polishing type)

Conventional type이나 종래의 Polishing type의 A/F paint는 완전한 Dry docking interval을 Cover하지 못하고 진수후 18개월후가 되면 Fouling이 된다고 파악되어왔다.

2) Self smoothing type A/F

상기 operation parameters에 근거를 두고 A/F의 사양을 보면 Vertical side \times 300 μ m, Flat bottom \times 200 μ m 상기사양은 30개월동안 Fouling을 막을 수 있는 사양으로 D/D interval 2년보다 6개월이 긴것은 D/D interval의 어떤 사정으로 인한 요인들을 흡수할 수 있다. 상기 2가지의 경우를 비교해서 초기 투자에 비해 Smoothing Rate의 영향이 어떠한지를 Fig.5.3에서 보여준다.

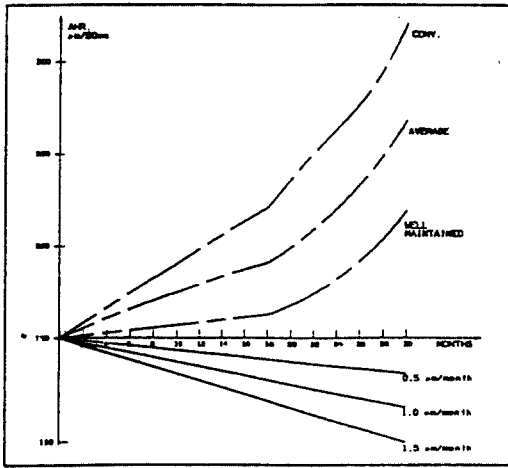


Fig. 5.3 Development of A.H.R of three type A/F paint

5. 2. 5년된 Oil tanker 경우

1) 현존 Paint위에 덧도장 (Over coating)

제시된 사양은 분명히 아주 Margin이 적다. 그리고 Self smoothing paint coating하는 시간이 Conventional type보다 오래 걸리지는 않는다. Table 5.1에서 투자 회수기간(Month)을 산출해왔다.

2) Blasting의 경우

Blasting의 적용시에는 Dock기간이 4일간 더 소요될 것이며 이것이 포함된 증가 비용은, Blasting과 Hard한 A/C+Self smoothing type A/F적용시 \$107,017이 소요되고, Spot blasting과 A/C의

Table 5.1 5년된 현존선

	잘 유지관리된 선박(2)	보통으로 유지관리된선박(3)
이전의 ROUGHNESS의 증가율	10μm/YEAR	30μm/YEAR
A.H.R	175μm	275μm
300μm× SELF SHOOOTH TYPE	>48 MONTHS	-
300μm× SELF SHOOOTH TYPE	21 MONTHS	17 HONTHS

Touch up+Conventional A/F적용시, \$32,738이 소요되고, 기타경비 \$5,565/Day×4Day- \$22,260으로 산출되었고, 상기 초기투자에 대한 회수기간을 Table 5.2로 산출하였다.

3) Maintenance사양선택

Paint maker의 보고서에서 자주 보이는 것을 인용하면 Conventional A/F인 경우 Roughening rate가 20μm/Year되었으며 High polishing인 경우 Smoothing Rate가 1.0μm/Month이 되고 low polishing인 경우 Smoothing Rate가 0.5mm/Month정도로 되었다. 또 이것은 Dry docking때마다 15% 정도의 Mechanical damage등으로 인한 Touch up, overlapping에서 기인된 Roughness의 증가가 30 μm/Year을 기록하고 있으며 이는 Townsin et al에 의해 보고되었던 Dry docking operation때마다 25

Table 5.2 Blasting의 경우

	잘 유지관리된 선박(2)	보통으로 유지관리된선박(3)	CONVENTIONAL A/F선박 (1)
이전의 ROUGHNESS의 증가율	10μm/YEAR	30μm/YEAR	50μm/YEAR
A.H.R	175μm	275μm	375μm
BLASTTHG 후 A.H.R	125μm	150μm	200μm
300μm×SELF SHOOOTH TYPE	>48 MONTHS	34MONTHS	24MONTHS
200μm× SELF SHOOOTH TYPE	48 MONTHS	28 MONTHS	23 MONTHS

μm씩의 Roughness증가와 거의 같은 수치를 보인다. Fig. 5.2, Fig. 5.3에서 보듯이 Hard한 A/C를 선택한 Self smoothing A/F사양이 12년동안의 즉 6회 Docking기간을 외판 Blasting의 경우에는 앞에서와 같은 투자가 투입되지만 Roughness의 질감으로 인한 투자 회수기간을 Docking시 Blasting 및 S.M.C를 재도장을 하지 않는 경우와 비교하여 산정했다. 상기결과를 종합해보면 첫번째 Dry docking기간내에 까지는 신조선 초기 투자가 회수되지 않는다. 그러나 두번째 Dry docking기간 까지는 Smoothing rate 때문에 신조선시의 투자가 회수된다. 이와같이 Fig. 5.5 Flow chart에 의해 부록과 같이 컴퓨터 프로그램을 하여 결과 분석을 시뮬레이션 해본 결과는 다음과 같다.

Self smoothing A/F를 덧도장 (Over coating)할 경우에도 투자회수가 15~23개월내에 이루어진다. Blasting할 경우 잘 유지관리된 선박의 경우는 투자 회수기간이 상당히 길지만 평균적 보통 상태로 관리된 선박과 Conventional A/F로 도장된 선박의 경우는 투자 회수기간이 34개월에서 23개월이내로 되고 있다. 상기 계산에서는 보고되어 있는 Roughness penalty를 LBP 100M 부근의 수리선에서는 식(4.3)을, $C_{TS} = 3.5 \sim 4 \times 10^{-3}$ 정도의 신조선의 경우는 Townsin 이 제시한 값 $\Delta P(\%) = 3.8(K_1)^{1/3} - (K_2)^{1/3}$ 로 축소시켜 사용했다.

6. 결 론

Hull roughness의 영향을 수식화 시키는 것은 간단하고도 중요한 인자만을 가지고 접근을 하므로 어렵지 않은 해결을 할 수 있지만 실제 모델선의 정확한 값의 측정이 쉽지않고 Hull roughness의 영향을 정확히 분리해낼 수 없기 때문에 본 연구에서 적용한 수식에 대한 신조선의 결과치로 그 값을 개략적으로 읽을 수 밖에 없었다.

Hull roughness의 원인은 선박의 更年현상과 더불어 침가 유발되어 그 후 원상회복을 위한 재투자인 Blast cleaning의 필요성은 잘 알려진 Rough-

ness 다이어그램에서 알 수 있지만 선박의 속력 손실과 비교하여 선박의 특성에 따라 본 논문에서의 Blast cleaning의 손익 분기점 산출은 앞으로 조선소 실무자나 선박 관리자들에게는 필수적인 것이 될 것이다.

상기의 연구 결과에 따라 본 논문에서 밝혀진 것을 정리해보면 다음과 같다.

1. 10척의 L=100M 근방의 실적 신조선의 잉여 마찰저항 손실을 수식을 통해 도식화하고 ITTC추천식과 비교하여 신조 선박 설계시 그 값을 예상할 수 있도록 하였다.
2. 도식화된 A.H.R손실을 Townsin의 손실식과 비교하여 경제적인 면을 고려한 적절한 손실식을 찾았다.
3. 초기 투자와 투자회수를 고려한 경제성 분석의 Hull roughness관련 소프트웨어를 찾아낸 손실식을 이용하여 만들고 그에 따른 손실을 추정해보았다.

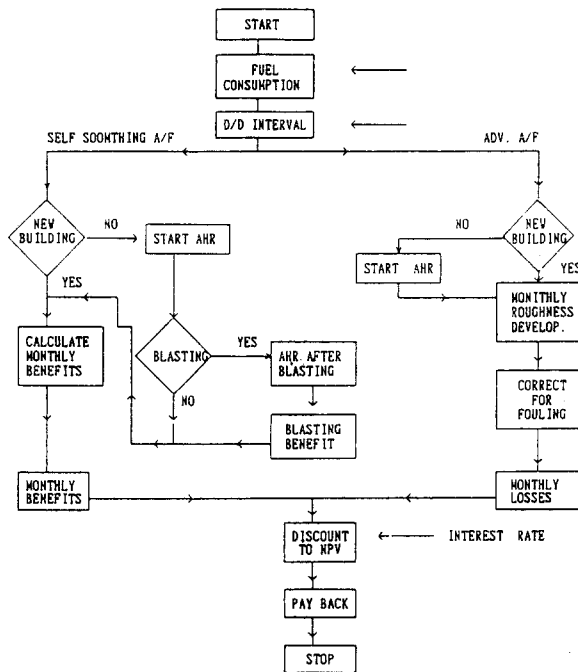


Fig. 5.4 Flow chart

신조선 발생되는 초기 Hull roughness를 측정하여 조선소에서 보유할 경우 타 신조선 선박의 보증 속력에 미치는 신조선 A.H.R의 또다른 계수 값으로 책정하고 이 값을 경제성 분석의 본 소프트웨어를 사용하여 손실 값으로 정하여 초기에 선주에게 보증할 수 있는 어떤 경제적 수치로 정립시킬 수 있으며 이를 이용하여 방오도료의 질과 함께 Hull roughness를 관리하는 방법으로 제안하고 싶다.

이러한 경향으로 본 연구가 이루어졌으며 차체에 건조될 모든 선박설계시 이를 도입하여 손실 평가를 하므로 보다 경제적이고 경쟁력 있는 선박의 건조를 해야 할 것이며 해운 업계에서도 정확한 Docking 시점의 결정에도 상당한 도움이 될 것으로 믿는다.

끝으로 산학협동연구비 및 M.E과정에 도움을 주신 대동조선 설계부에 감사를 드립니다.

참고문헌

- 1) I.M.O model course 5.03 "planned fleet maintenance and hull protection" 1988.
- 2) 김 정철, "최근 선저 방오도료의 동향과 전망" 도장기술 회보 통권 제18호
- 3) Kwon Y. J, "the effect of weather on the ship performance, particularly short sea waves, on ship speed performance", ph.D. thesis, univ. of newcastle upon tyne. 1982.
- 4) The guide of jotun "hull surface management", Jotun Protective Coatings, 1992.
- 5) 中尾 學 "船底塗料" 船의 科學 Vol. 39. 1986. 7.
- 6) 朴命圭外 2人, "船體粗度에서의 底抗增加의 評價에 關한 研究", 한국항해학회지 제12권 제3호, 1988.
- 7) R. L Townsin et al, "speed, power and roughness : The economics of outer bottom maintenance RINA", 1980.
- 8) R. L Townsin et al. "Estimating the technical and economic penalties of hull and propeller roughness", SNAME Vol. 89, 1981
- 9) W. Kauczynski and H. Walderhaug "Effects of distributed roughness on the skin friction of ship", RINA, 1984
- 10) S.Sakamoto et al "Ship roughness, new and service, and the role of self-polishing antifouling", 1983.
- 11) "A study on local roughness effect on ship resistance", 西部造船會 會報 59號.
- 12) H. Walderhaug "Paint roughness effects on skin friction" I.S.P vol. 33. 1986. 13
- 13) Yoji hemeno "On the method of roughness analysis of ship hull surface", 일본조선협회 추계강연회, 소화41년 11월.
- 14) R. L Townsin et al. "Hull condition penalties and palliatives for poor performance", RINA, 1985
- 15) D. Byrne "Hull roughness of ships in service", University of Newcastle-upon-Tyne. UK, 1979.
- 16) Svend johnsen "Fuel saving considerations with nautic modules", HEMPEL'S Nautic Presentation, 1989.
- 17) Marintek and JMC "Report of experiments" m MARINTEK, 1992.
- 18) Chugoku marine paints, Ltd., "Regulation of organic tin A/F and A/F paints" 1990. OCT.
- 19) Grigson "The drag coefficients of a range of ship surface II", 1983 RINA.
- 20) Musker A. J. et al. "Wall-friction and profile geometry aspects of coating an irregularly rough surface" I.S.P vol. 27. 1980. FEB.
- 21) 朴命圭外 1人, "선박 프로펠러 설계시 여유개념과 설계점", 한국 박용기관 학회지 제12권 3호, 1988. 8.

부 록

샘플에 의한 프로그램 및 I/O LIST

```

integer  sw, dd, spc, ahr, month, opday, ch
real     npv, k1, k2, fo, dp, pt, pp, hlast, cha
character *1, paint, new
1  write(0, '(aW)') ' 침수 면적 (S.W)은 ? :
   Read(0, 10) sw
10 format(i5)
20 format(f5.2)
   write(p, '(aW)') ' 기름 소모량 (F.O)은 ? :
   read(0, 20) fo
   write(p, '(aW)') ' D/D INTERVAL ? (24 or 36) :
   read(0, 30) dd
   wrtie(0, '(aW)') ' OPERATING DAY ? :
   read(0, 30) opday
40 format(i3)
30 format(i2)
35 Write(0, '(aW)') ' PAINT 종류는 ?
   (S : s.m.c, A : adv, a/f) :
       read(0, 50) paint
50 format(a)
   if(paint. eq. 'S') then
       goto 45
   else if (paint. eq. 'A') then
       goto 45
   else
       goto 35
   endif
45 write(0, '(aW)') ' NEW BUILDING ? ( : /N) :
   read(0, 50) new
100 if(paint. eq. 'S') then
       goto 200
   eise
       goto 400
   endif

```

S.M.C PAINT AND NEW BUILDING

```

200 if(new. eq. 'Y') then
   ahr=150
   K1=ahr
   K2=K1-1
   goto 204

```

```

   else
   endif
   if(new. eq. 'y') then
       ahr=150
       K1=ahr
       K2=K1-1
       goto 205
   else
   endif
   goto 300
205 write(0, '(aW)') ' A.D.V는 ? (200or 300) :
   read(0, 210) SPC
210 format(i3)
   if(SPC. eq. 300) then
       npv=(sw/1.06*10)-(sw/1.5*6.5)
       goto 215
   else
   endif
   if(SPC. eq. 200) then
       npv=(sw/1.4*10.)=(sw/2.0*6.5)
       goto 205
   else
   endif
       write(0, '(a : )') ' A.D.V가 잘못 입력되었음.(200
or 300)
       goto 205
215 ch=0
   do 221 i=1,dd
       do=(3.8*(K1** (0.333)-K2** (0.333)))*
(opday/365.)*200*300
       K1=K1+3
       K2=K2-1
       Pt=pt+dp
       if(ch. eq. 1) goto 225
       if(pt. ge. npv) then
           month=i
           else=1
       endif
225   npv=npv*1.008
220 continue
   cha=pt-npv

   write(0,280)
   write(0,270)

```

```

230 write(0,240),month
    write(0,290)
230 write(0,260),month
    write(0,270)
240 format(10x,'PAY BACK-',I2,'개월')
260 format(10x,'이의 합=',f12.5, '$')
270 format(6x410('='))
280 format(///)
290 format(6X, 40('—'))
    goto 900

```

S.M.C PAINT AND REPAIR SHIP

```

300 Write(0,'(aW)') START A.H.R ?
    Read(0, 310) ahr
310 format(i3)
    if(ahr. ge. 400) then
        write(0,'(aW)') A.D.V는 ? (200 or, 300)
        read(0, 210) spc
        if(spc. eq. 300) then
            npv=sw*37.+(sw/1.06*10.-sw/1.5*6.5)+
18000
            K1=ahr-100
            K2=150
            goto 355
        else
            endif
    if(SPC. eq. 200) then
        npv.=sw*37.+(sw/1.3810.-sw/2.0*6.5)+
1900
            K1=ahr-100
            K2=150
            goto 355
        else
            endif
    else
        write(0,'(aW)') A.D.V는 ? (200 or, 300)
        read(0, 210) spc
        if(SPC. eq. 300) then
            npv=(sw/1.06*10.-sw/1.5*6.5)
            K1=ahr
            K2=K1-1
            goto 355
        else
            endif

```

```

endif
    if(SPC. eq. 200) then
        npv=(sw/1.3*10.-sw/2.0*6.5)
        K1=ahr
        K2=K1-1
        goto 355
    else
        endif
endif
endif

```

continued

```

355 ch=0
    do 360 i=1, dd
        dp=(6.0*(1*(0.333)-K2*(0.333)))*(op-
day/365.)*200*30
            K1-K1+3
            "2-K2-1
        pt-pt+dp
        if(ch. eq. 1) goto 365
        if(pt. ge. npv0) then
            month=i
            ch=i
        else
            endif
        365 npv=npv*1.008
        360 continue
        cha=pt-npv
        write(0,280)
        write(0,270)
    370 write(0,240) month
        write(0,290)
        write(0,260) cha
        write(0,270)
        goto 900

```

A.D.V PAINT AND NEW BUILDING

```

4001/if(new. eq. 'y') then
    ahr=150
    write(0,'(aW)') A.D.V는 ? (100 or, 150)
    read(0, 210) spc
    if(SPC. eq. 140) then
        npv=SW*6.5/1.83
    else

```

```

endif
if(SPC. eq. 100) then
  npv=sw<6.5/2.5
  else
  endif
goto 500
else
endif
if(new. eq. 'y') then
  ahr=150
write(0,'(aW)') A.D.V는 ? (100 or, 150)'
read(0, 210) spc
if(SPC. eq. 150) then
  npv=SW * 6.5/2.5
  else
  endif
goto 500
else
endif
continued
410 Write(0,'(aW)')6 ! START A.H%R ? '
  read(0,310) ahr
  if(ahr. ge. 400) then
    ahr=ahr-250
  else
  endif
  write(0,'(aW)') A.D.V는 ? (100 or, 150)'
  read(0, 210) spc
  if(SPC. eq. 150) then
    npv=sw * 6.5/2.5
  else
  endif
  K1=ahr
  ch=0
do 420 i=1,dd
  if(i. gt. 18) then
    K2=ahr+3
  else
    K2=ahr+1.5
  endif
  dp=(6.0*((K1** (0.333) - K2** (0.333)))) *
  (opday/365.) * 60. * fo
  pt=pt+dp
  K1=K1-1

```

```

npt=-pt
if(ch. eq. 1) goto 415
if(npt. ge. npv) then
  month=i
  ch=1
  else
  endif
415 npv=npv * 1.009
  cha=npv - npv
420 continue
  goto 570

```

A.D.V PAINT AND REPAIR SHIP

```

500 K1=ahr
  ch=0
do 510 i=1, dd
  if(i. gt. 18) then
    K2=ahr+3
  else
    K2=ahr+1.5
  endif
  dp=(3.8*((K1** (0.333) - K2** (0.333)))) *
  (opday/365.) * 60. * FO
  pt=pt+dp
  K1=K1-1
  npt=-pt
  if(ch. eq. 1) goto 515
  if(npt. ge. npv) then
    month=o
    ch=1
  else
  endif
515 npv=npv * 1.008
  cha=npt - npv
510 continue
570 write(0,280)
  write(0,270)
  write(0,580) month
  write(0,290)
560 write(0,590) cha
  write(0,990)
990 write(0,990)
  write(0,'(aW)') 작업을 계속 하시겠습니까

```



```
read(0,920) Link
580 format(/, 10x, 'PAY BACK=', i2, '개월')
590 format(/, 10x, '손실합=', f12.5, '$')
990 format(/)
920 format(a)
    if(link. eq. 'Y') goto 1
    if(link. eq. 'Y') goto 1
    stop
end
```