

일본의 산·학·연 협동 연구사례

- 무진동선 개발과제 -

김 사 수 <부산대학교>

1. 서 언

일본의 조선공업은 국제적으로 지도적 위치에 있고, 일본 국내에서도 기간산업으로서 중요한 역할을 담당하고 있다. 이를 앞으로도 계속 발전 유지시켜 나가기 위해서는 기술개발을 더 촉진시켜 선박의 고품질화를 기할 필요를 주장하고 있다. 그 중에서도 선박의 고품질화를 위하여 해결해야할 중요한 과제는 선박진동방지에 대한 연구개발이 무엇보다 강하게 인식되어 개발의지를 결심하게 되었던 것이다. 이와 같은 결심을 실현하기 위해서 운수성을 비롯하여 ship and ocean재단의 기술개발기금운용 전문위원회의, IHI중공업(주)와 Mitsubishi중공업(주)으로 구성된 무진동형 고품질 선박의 개발위원회, 그리고 Kawasaki중공업(주), Sumitomo중기계공업(주), NKK(주), Hitachi조선(주), Mitsui조선(주)이 협력하여 연구과제인 「무진동형 고품질 선박의 개발」을 과감하게 채택하게 된 것이다.

본 연구개발목적은 선박의 기진력과 진동의 전파 과정 등을 정확하게 계측할 수 있는 기술과 설계단계에서 미리 선박진동을 정확하게 예측할 수 있는 기술을 확보하게 됨으로써 쾌적한 거주구를 보장하게 되는 고지능화선인 고도기술선박의 건조가 가능할수 있고 또, 방진을 하기위한 보강장치의 절약이 가능하도록 한 것이다. Fig. 1 및 Fig. 2에는 본 연구개발의 흐름도와 설계흐름도를 나타내었다.

연구기간은 1986년도부터 4년간의 연구인데 그 제 1차년도는 진동과 계산방법의 현상을 파악함과 동시에 실선계측법의 검토, 제 2차년도는 선체진동에 관계되는 모든 현상을 해명하여 simulator개발의

base가 되는 기술요소를 얻는 것과 동시에 고도의 실선계측장치의 개발을, 제 3차년도에는 진동과 기진력에 대한 추정법의 개발과 종합실선계측을, 최종년도인 제 4차년도에는 진동응답simulator를 개발하여 국제표준의 최고level에 이르도록 성능을 검증하는 종합보고서를 내게 되었다.

2. 개발내용

이 개발은 종래의 경험주의적 접근으로부터 탈피하여 선체진동의 현상mechanism분석과 진동억제법을 얻기 위하여 선체구조 propeller engine shaft에 대한 모형시험에서 구한 진동추정계산법으로부터 실선측정에 의한 확인까지의 종합적인 연구를 하였다. 즉, Table 1에 보인 바와 같이 1986년도부터 1989년도까지의 4년간에 걸쳐 다음과 같은 4항목에 대하여 매년도별 목표를 설정하여 연구를 한 것이다.

- ① 선체진동응답 simulator 개발
- ② 복합기진력감소법 개발
- ③ propeller기진력의 추정법 개발
- ④ 실선계측법 개발

매 년도의 실시 내용은 Table 2에 보인 바와 같다. 복잡한 양상을 나타내는 선체진동의 현상 mechanism을 모형실험 등에 의하여 파악을 하고 그 software개발은 주기관과 축계의 진동에 의한 복합기진력, propeller 기진력과 선체진동응답의 추정계산 program을 개발하였으며 hardware개발은 항해중 진동의 계측 data 처리 system, 기진기 실험

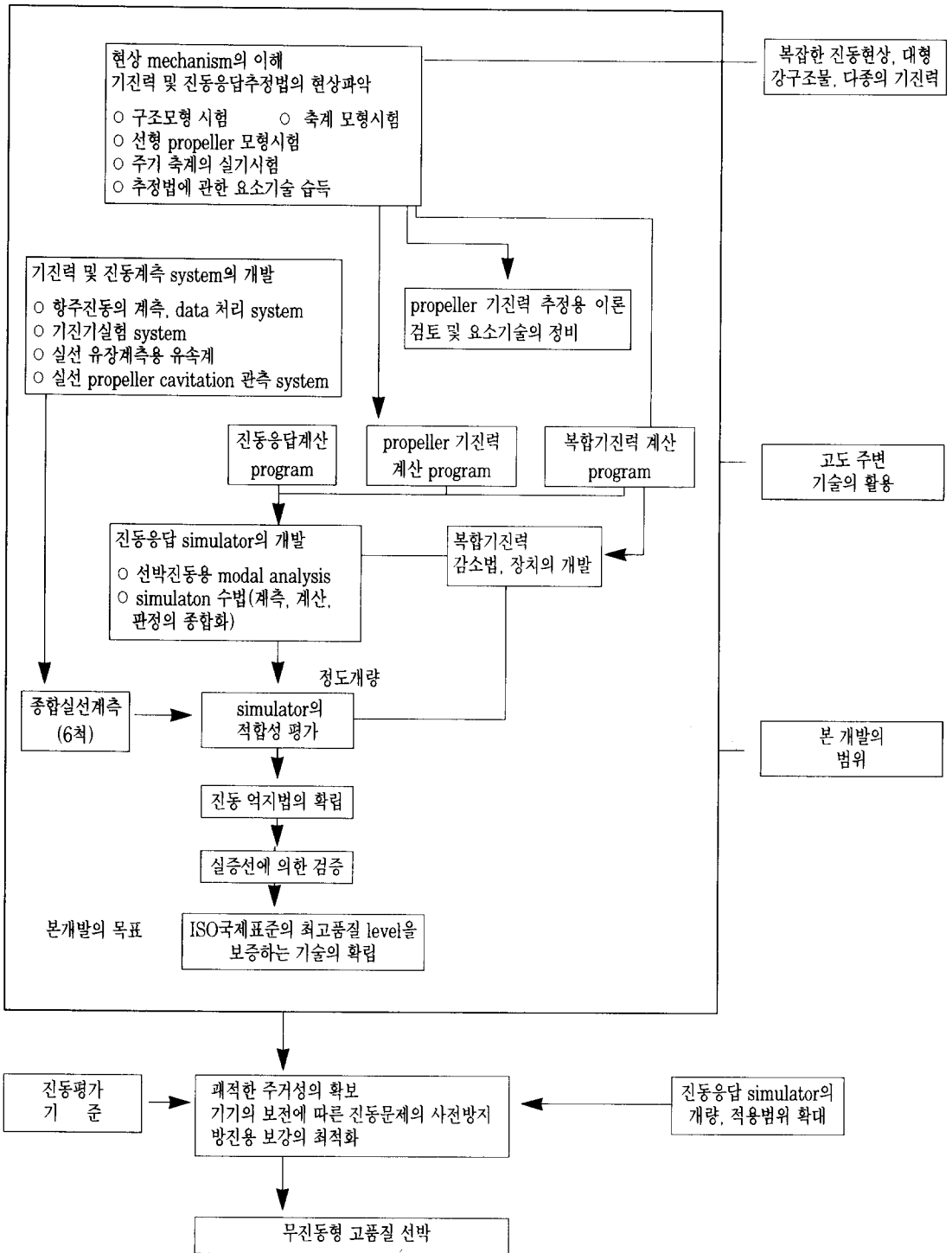


Fig.1 무진동형 고품질 선박의 개발흐름도

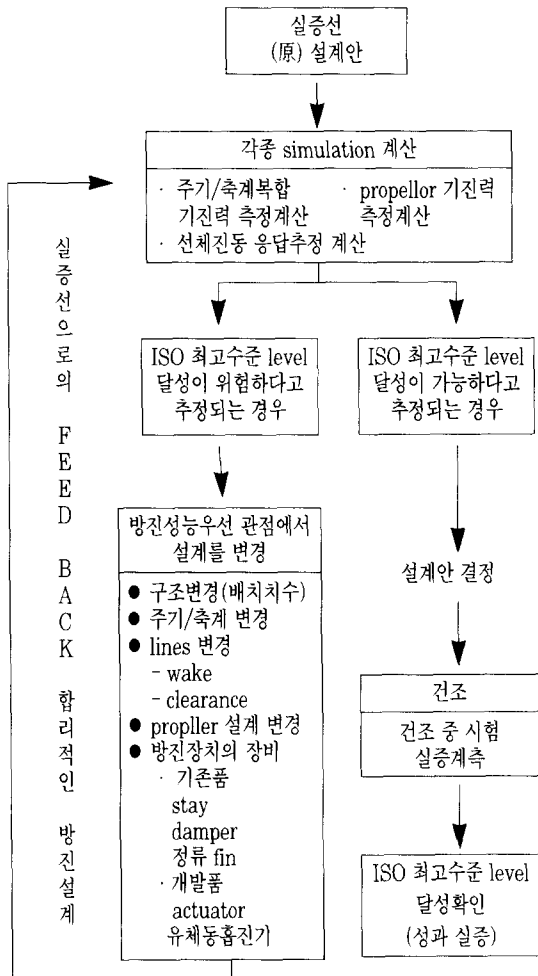


Fig.2 설계흐름도

system, laser에 의한 선체 주위의 유속계측system과 실선 propeller cavitation 관측system 등을 개발하였다.

이들의 각종 실선계측 system을 사용하여 propeller engine shaft와 실선의 진동에 관한 현상의 종합실선계측을 6척 (24만톤형 탱커 2척, 8만톤형 탱커, 17만톤형 살물선, 3.7만톤형 산적화)에 대하여 실시하여 이를 상기 추정계산 program에 대한 개량의 자료가 되도록 하였다. 이에다 각종계산 program을 재종합하여 기진력으로부터 진동응답에 이르기까지의 계산을 일관할 수 있는 진동응답 simulator를 완성하였다. 위와 같은 개발내용을 동기와 목적별로 요약정리하면 다음과 같이 종합할 수 있다.

Table 1 「무진동형 고품질 선박의 개발」 연구내용 및 성과

연구 내용	연구 성과
선체진동응답 simulator 개발 · 선체진동응답 simulation · 모형선에 의한 진동의 특성실험 · 새로운 선체실험법의 개발 · 선체진동응답 simulator 개발	· 항해중의 계측 · data 처리 system · 기진기 실험 system · 진동응답계산 system · 진동응답 simulator(진동응답용 modal 해석 및 simulator 방법 적용)
복합기진력의 감소법 개발 · 축계 중 · 비틀 연성기구의 해명 · 주진력의 계측과 해석 · 주기축계 propeller 연성진동의 해명 · 복합기진력의 감소법 개발	· 복합기진력 계산 system (simulator용) · 신형 주기관기구 방진 stay · 복합기진력의 감소법
Propeller 기진력의 추정법의 개발 · Propeller 기진력 추정용 이론감도 및 요소기술 개발 · 실선 계측용 유속계의 개발 · 실선 propeller cavitation 관측시스템의 개발	· 실선계측용 laser doppler 유속계 · 실선 propeller cavitation 계측 system · propeller 기진력 계산 system (simulator용) · propeller 기진력 정밀계산 system
실선계측 · 종합실선계측 · 개발성과의 실증계측	· 종합실선계측 data base (6척) · 실증계측에 의한 개발 성과의 확인 · 개발성과의 평가
종합평가	상기와 같은 개발성과를 종합하여 ISO 6954에 규정하는 진동의 최고품질 level을 보증하는 기술을 확립

Table 2 「무진동형 고품질 선박의 개발」 연도별 연구내용 및 성과

연도	연구 내용	연구개발비
1986년	· 진동현상과 계산법의 상황을 파악함 · 실선계측법의 연구를 끝냄	21억원
1987년	· 선체진동에 관한 모든 현상을 해명하여 simulator개발의 base가 되는 기술요소를 얻음 · 고기술 실선계측장치의 개발을 끝냄	29억원
1988년	· 진동 및 기진력의 추정법을 작성하여 실선계측에 의하여 정도를 향상시킴	34억원
1989년	· 방진설계, 방진장치에 의하여 국제표준(ISO)의 최고 level을 보증하는 기술의 확립과 실선에 의한 검증을 함	38억원
총 연구비(1986-1989년)		122억원

1) 거주성 향상을 위하여

- 파랑 중을 항해하는 선박은 복잡한 진동이 일어나게 되는데 이를 없게 한다는 것은 거의 불가능한 일이다. 그러나 쾌적한 선상생활을 목표로 진동을 줄여 거주성이 보다 나은 무진동형 선박의 개발을 하여야 한다.
- 진동은 computer 등의 전자기기에도 나쁜 영향을 주게 된다. 이를 위하여 최첨단을 걷고 있는 일본의 조선 각분야의 요소기술을 활용하여 무진동형 고품질선박으로 지향하는 종합적인 연구개발을 하여야 한다.
- ISO의 기준치인 최고level을 보증할 수 있는 쾌적한 배를 건조하기 위하여는 배의 진동이 일어나는 근본원인을 미리 정확하게 파악해두어야 한다.

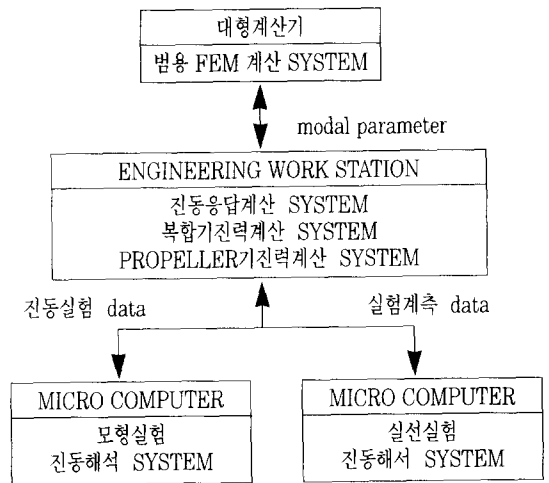
2) 진동현상mechanism의 파악과 해명

- 배의 기진력은 engine shaft propeller로부터 발생하게 되는데 이들은 서로가 상호간섭하게 되어 복잡한 특성으로 나타나게 된다. 이와 같은 복합기진력과 engine shaft propeller의 각 기진력에 관한 정밀한 수치해석 model을 얻기 위해서는 각종의 실험을 하여야 한다.
- Engine 기진력의 연구중에는 그 진동을 억제시키기 위한 장치에 대한 연구가 필요하다. 즉, 여러가지 방진용stay의 모형에 대한 진동 실험을 통한 진동특성의 연구로 개발된 방진용stay가 실제 배에 설치 그 방진효과를 얻도록 한다.
- Engine과 propeller로 연결된 축계는 복잡한 진동을 하게 된다. 이와 같은 축계는 model에 의한 그의 세부적인 진동계측과 해석이 필요하다.
- Propellar 자체 진동의 발생mechanism을 해명하기 위하여 실험이 필요하다.
- 진동에 큰 영향을 미치게 되는 propeller cavitation이 임의 조건하에서 어느 정도 발생하는가의 실험이 필요하다. 이때 실험용 수조에 propeller model을 설치하여 strobo광선을 비쳐 날개를 정지 상태에서 볼 수 있도록 하여 그 표면에 발생하는 cavitation을 관찰할 수 있게 한다. 또, laser광선을 활용 cavitation의 두께와 크기를 조사한다. 이때 cavitation의 두께는 등고선으로 보이도록 한다.

· 이상과 같은 여러가지 실험연구결과를 통하여 각종의 기진력과 선체응답에 대한 정밀한 수치해석 model을 확립하여 개발 목적인 「진동 응답simulator」개발의 기반을 구축하여야 한다.

3) 진동응답 simulator의 개발 (Fig. 3참조)

- 진동의 발생원으로서의 engine shaft propeller의 각 진동특성과 선체진동특성의 해명으로 새로운 연구개발단계에 임할수 있게 한다.
- Engine shaft propeller로부터 얻은 진동 data를 복합기진력과 propeller기진력의 계산에 적용하도록 한다.
- 진동원으로부터 상부구조에 전달되는 과정추정과 그 주거실의 진동응답은 물론 주선체, 선미 기관실, 상부구조의 각 진동data를 입력하여 연성진동계산에 의한 배 전체의 응답을 얻도록 한다.
- 배의 진동을 입체적으로 알기 쉽게 표현한 선체진동 mode의 화면을 보이도록 한다.
- Engine과 상부구조, 그리고 선체의 움직임을 여러가지 각도로 볼 수 있게 한다.
- Engine의 진동mode를 3차원으로 보일수 있게 한다.
- 건조하기 전에 복잡한 배의 진동을 미리 예측



*modal parameter
진동 mode의 특성을 나타내는 수치로서 진동감쇠, 진동질량, 진동강성 등

Fig. 3 선체진동응답 simulator

할 수 있는 simulator 개발로 초기방진설계에 도움이 되도록 한다.

4) 종합실선계측

- 배 전체의 진동을 파악하기 위한 simulator의 계산정도를 높이기 위하여 실선에 의한 기진력과 진동 계측이 되어야 한다. 이를 위하여 앞에서 개발된 여러가지 계측 system을 실선 계측에 의한 feedback을 통하여 확인되어야 한다.
- 停船中에서 기진기에 의한 진동분석으로 기본적인 진동특성 data를 파악해 둔다.
- 선체 각 부분에 설치된 sensor로 진동을 계측하게 된다.
- 이때 새로이 개발된 기진력 진동의 계측 system이 활용된다.
- 항해중 propellar와 그 주위의 기진력에 영향을 주게 되는 유속과 cavitation 등을 조사하여 기관실 선체의 진동응답을 계측한다. 이때 항해중의 선미의 상태를 관찰하게 되는데 우현에 CCD camera 3대 좌현에 2대, 좌우현에 strobo 각 1대 그리고, laser 투광head를 설치한다. 이와같은 계측설비에 의하여 propeller 기진력에 영향을 주게 되는 propeller 근 방의 유속을 계측하는 laser doppler 유속계와 propeller cavitation을 영상처리하는

관측 system을 통하여 해석 및 검토한다.

- 본 연구결과가 일본에서 처음으로 종합적인 실선계측에 의하여 복잡한 배의 진동을 해명할 수 있는 simulator와 계측 system을 완성하게 된다.

3. 결론

- 기초연구 실험연구 진동응답 simulator의 개발과 종합실선계측을 통하여 배 전체의 복잡한 진동을 해명하게 된다. 이와같은 진동해석 결과는 각 부분의 진동을 미리 예측할수 있음과 동시에 종합적인 방진설계를 피할수 있게 된다.
- 이상과 같은 최적 engine shaft propeller의 종합진동해석과 engine의 방진stay damper의 방진장치와 더불어 복합기진력 예측법을 구축할수 있게 된다.
- 고성능 laser doppler 유속계와 cavitation계측이 실선에서 적용됨으로서 이를 반영한 propeller 기진력 추정법을 구축하게 된다.
- 이상과 같은 결과가 기진력과 선체진동응답의 종합실선계측의 실시와 그 결과를 반영한 선체진동응답 simulator 개발을 하여 궁극적으로 ISO에서 규정하는 진동의 최고품질 level에 이르는 종합적인 방진기술(Table 3참조)을 확립할 수 있게 된다.

Table 3 본 개발에 의한 종래와 앞으로의 방진설계와의 비교

	종래의 방진설계법	본개발에 의한 방진설계법	앞으로의 과제
	경험과 과거의 data에 의한 판단이 주류 (상대적으로 정성적 판단)	정도 높은 대책검토가 여러가지 가능하기 때문에 효과적 대책이 된다. (상대적으로 정량적 판단)	
계산 model	선체구조를 보로 치환 (model화가 불충분)	선체구조를 입체 FEM으로 치환	input data generator의 기능충실 ↓ input data 작성시간의 단축
기진력	주기, propeller로부터의 외력을 간략계산 (기진력의 정도 불충분)	주기, 축계의 연성력(복합기진력)과 propeller 기진력을 복합기진력으로 한 선체 model화	주기, propeller의 기진력 감소
진동의 응답	보의 이론식을 사용 damping 계수는 실적으로부터 추정 (응답치를 구하기 위한 damping 계수의 정도가 나쁨)	· FEM에 의한 응답 soft · damping 계수는 종합실선계측에 의한 값으로부터 추정	실선계측선의 data를 수집하여 합당한 damping계수를 사용
건조후의 처치	trouble 발생시에 원인이 분명하지 않은 것이 많음 (효과적인 대책이 단기간에 검토할 수 없다)	본개발의 성과에 의하여 해명의 수단이 된다	
결 과	· 안전측면의 설계로 되어 중량이 증가하는 경향이 있다. · trouble이 발생하게 되면 trial and error로서 대책을 세우기 때문에 시간이 필요하게 된다.	· 중량을 절약할 수 있다. · Trouble이 발생할 때는 효과적인 대책이 된다고 본다.	주) FEM FINITE ELEMENT METHOD(유한요소법)

4. 앞으로의 과제

본 개발에서는 주로 진동응답의 추정법에 대하여 검토하고 큰 성과를 얻었다. 이를 실제 설계에 활용해 나가는 것이 앞으로의 기본적인 과제이다. 또 이를 앞으로도 계속 개발해 나가기 위해서는 다음과 같은 개발과제들을 들수 있다.

1) 진동응답추정

· 계산 model

본 개발에는 Oil tanker와 산적화물선의 input generator(I/G)을 개발하였다. 이 이외의 선종에 대하여도 본 개발에 의한 방법을 적용하게 되면 보다 정도 높은 계산 model로 새로이 refine해 나갈 수가 있다.

· 실선 mode 해석 적용

본 개발에 의하여 얻은 실선 mode해석 방법에 의하면 실선계측으로부터 정확한 진동질

량(m)과 감쇄계수(d)를 얻게 된다. 이와 같은 m값과 d값의 자료를 더 축적하게 되면 진동응답 계산정도를 한층 더 높일수 있다.

2) 진동 제어

· 종래의 설계방법과 본개발에 의한 계산방법을 종합 적용하게 되면, 최적의 구조설계의 실용화와 진동의 제어가 가능하게 될 것이다.

· Engine, propeller 자체의 기진력을 경감시키는 연구는 본 개발에 들지 않고 앞으로의 과제로 남는다.

· 본 신행 주기방진stay의 개발은 본 진동제어의 idea에 도입하게 되면 또 다른새로운 개발이 가능하다.

· 종래의 재료와 새로운 고성능 재료를 조합하게 되면 진동제어재료로서의 실용화가 가능하다.

PRADS '95 소식

1994년 9월 11일 Canada, Newfoundland St. John's에서 개최된 PRADS 이사회에 김효철 회장(ISSC '94에 참석한 부회장 동참)이 참석하여 PRADS '95행사의 진행 상황과 논문 접수 현황을 보고하고 동 행사의 추진에 따른 주요 결의 사항을 학회에 보고하였다.

동 회의에서 김효철 회장은 PRADS '95의 International Standing Committee의 신임 회장으로 선출되었으며 Secretary에는 Netherland Marin 소장인 M.W.C. Oosterveld 박사가 선임되었다.

현재 집계된 191편의 논문 접수 현황은 국가별로 다음과 같으며 한국이 83편으로 전체 논문수의 43% 이상을 점유하고 있다.

논문 선정 결과는 11월중 각 저자에게 통보될 예정이다.

by First Author					
Country	Submitted	Country	Submitted	Country	Submitted
AUSTRALLA	4	FRANCE	3	MALAYSIA	1
BELGIUM	1	GERMANY	6	NORWAY	9
BRAZIL	5	GREECE	2	RUSSIA	2
CHIAN	8	INDLA	1	TAIWAN	3
DENMARK	2	ITALY	7	THE NETHERLANDS	6
EGYPT	2	JAPAN	27	U.K	9
FINLAND	2	KOREA	83	U.S.A	7
UKRAINE	1			총합계	191