

資 料

Ferro-cement Boat 건조 보고

박 선 영*

State-of-the-Art Review of Ferro-cement Boat

by

Sun Young Pak

General

Ferro-cement is a composite material made of portland cement mortar and meshed wire (or chicken wire) reinforcement.

In most cases, as a shipbuilding material, reinforcing steel rods and steel pipes are also used. This report will review the technique of ferro-cement boat building and will guide the working details. Beyond these, this report will present some test results of the ferro-cement test pannels and will compare those with the other well known shipbuilding material.

As a matter of fact ferro-cement application to the shipbuilding material is quite not a new theory. There were already lots of case studies and actual ship building applications. But the technique to do this is not easily available to the interested persons and amateur shipbuilders.

Therefore this report will stress most its "state-of-the-art review" and give kind guidance in using ferro-cement as a shipbuilding material. For the more interested research worker, technical references as much as listable are printed in the bibliography section on this report.

서 언

Ferro-cemnt란 cement 반죽을 강망으로 보강하여 만들어진 복합 자재이다. 대개의 경우에 배의 건조 자재로서 강근(steel rod)과 강관(steel pipe)을 사용하는 것이 보통이다. 본 보고서는 ferro-cement boat 건조를 위한 기술을 평가하고 공작 세부를 친절히 일러주고자 하며, 나아가서(ferro-cement) 시험편의 시험 결과도 게재하며 잘 알려진 조선재와의 비교를 하였다. 사실인즉 ferro-cement의 조선 재료로서의 이용은 전혀 새로운 이론이 아니다. 이미 다수의 연구가 행해졌으며 실제 조선에 적용된지 오래이다. 그러나 취미를 가지고 있는 사람과 배를 만들고저 하는 문외한들에게 이용될 공작 지침을 쉽사리 얻을 수 없다. 그러므로 본 보고서는 ferro-cement를 조선 재료로 사용함에 필요한 기술 편람 역할을 하고 친절한 지침을 주도록 노력하였다.

그리고 더욱더 연구하고자 하는 사람을 위하여 기계 가능한 모든 기술 도서를 본 보고서의 참고 문헌에 게재하는 것을 잊지 않았다.

일 반 사 항

세멘트를 사용하여 배를 만들겠다는 생각은 처음부터 회의와 불신으로 차 있었다. 진해 공장에서 4 ton 급

* 正會員, 海軍鎮海工廠

사관 생도 훈련용 cutter 와 16 ton 급 동력선을 건조하는 도중 많은 관여자 자신들이 배가 뜨겠느냐고 질문하는 것을 수차 들었다. concrete 는 너무나 무겁고 유연성이 없어 균열이 가게 될 것이라는 생각에서다. 그러나 얇은 층으로 된 ferro-cement 구조는 가볍고 가변성이 있고 균열이 있어도 상당한 충격에 견디어 낼수 있다는 것을 알수 있다. ferro-cement 는 건축에서 이용되는 철근 concrete 보다 훨씬 큰 인장강도를 가지며 어떤 한 도 내에서 굴곡을 시켰을 때 뚜렷한 균열이 없이 다시 제자리에 돌아오게 됨을 알 것이다. 사격시험에서 밝혀진 것이지만 ferro-cement 시험편이 아주 큰 부분적 충격을 받으면 구멍이 나지만 손상은 아주 국부적이며 균열이 널리 파급되지 않는다는 것도 알아내었는데 이는 meshed wire 나 chicken wire 가 필요한 결합력을 주고 있기 때문이라 생각된다. 그러나 품질보증을 위하여 각별한 주의를 하여야 하며 선체 강도 및 방수에 결함이 없도록 하여야 할 것이다. 그 한 예로써 구조가 간단한 cutter 제작에 있어 meshed wire 를 6겹 사용하였으나 복잡한 곡선이 없는 단순 곡선이었는 고로 16 ton급 동력선의 8겹의 복잡한 구조보다 훨씬 품질 관리가 잘 되어 수방에도 별 애로를 느끼지 못하였고 실지 및 시험편의 경우에 있어 8겹짜리보다 강력차가 어떤 경우에는 컷음을 부인할 수 없다. 다시 말해서 cement 를 칠 때 wire 사이 사이에 공동 현상이 나지 않도록 각별한 주의가 요구된다. 또한 선체 수리는 아주 간편하나 일단 완공된 선체 구조 변경에는 타 자재보다 훨씬 힘이든다는 것을 일러둔다. 특히 동계철의 보수 수리에는 난점이 허다하다. 여기에 ferro-cement boat 의 장단점을 요약 하고져 한다.

1. 선체 건조비는 강선의 50%, 목선의 60% 밖에 들지 않는다.(20 ton 내외 기준임)
2. 한국에서 가장 풍부한 자원의 하나인 모래와 cement 를 이용하고 손쉽게 국내 시장에서 생산 판매되고 있는 meshed wire 나 chicken wire, steel rod, steel pipe 를 보강 재료로 사용함으로 전혀 외국에 선체 구조자재를 의존할 필요가 없다.
3. Ferro-cement 는 아주 복잡한 곡선을 자유 자재로 택할 수 있다.
4. Ferro-cement 는 화재에 대하여 아주 강한 저항력을 가지며 약 1700°C 까지 심한 손상이 없이 견딜 수 있다.
5. 열 전도율이 아주 낮으며 강관의 경우보다 1/6 밖에 안된다. 그러므로 겨울철의 보온에 아주 유리하다.
6. 동기에는 수리에 난점은 있으나 기타 계절에는 아주 쉽게 수리된다. 그리고 수리비가 아주 엷기이다.
7. Ferro-cement 는 시간이 지남에 따라 더욱더 강도가 커진다.
8. 목선과는 달리 충이 먹어들지 않는다.
9. Ferro-cement 는 녹이 슬지 않는다.
10. 선체 건조에 숙련된 기술이 필요없다.
11. 충격 저항이 fibre-glass 나 금속성 박판보다 높다.
12. 공작 기술이 간단할 뿐 아니라 비싼 건조 장비가 필요없다.

단점으로서는,

1. 선체 중량이 커지며 두께가 25 mm 내외가 되도록 해야한다. 목선에 비해 중량이 30~40% 무거워진다.
2. Cement 는 무기 성산에 약하다.
3. 외부에서 충격을 가하면 국부적으로 부서져 떨어져 나간다 즉 puncture strength 가 강관이나 aluminum 보다 약하다.

건조된 Ferro-Cement 선소개

1. 주요 치수

가. 16 ton 항내 잠역선		
길	이	12.800 m
폭		3.400 m

- 홀 수 0.850 m
- 배수량 16 ton
- 기관마력 6-71 G.M Engine, 225 hp
- 속력 15 kts

나. 4 ton 생도 훈련용 Cutter

- 길이 9.000 m
- 폭 2.400 m
- 홀 수 0.300 m
- 배수량 4 ton

2. 구조 소개

16 ton 항내 잠역선과 사관 생도 훈련용 4 ton 급 cutter 의 선체 선도, 일반 배치도 및 구조도를 보면 Fig. 1~ Fig. 5 와 같으며, 건조 과정 및 건조후 사용 상태는 Photo. 1~Photo. 3 과 같다.

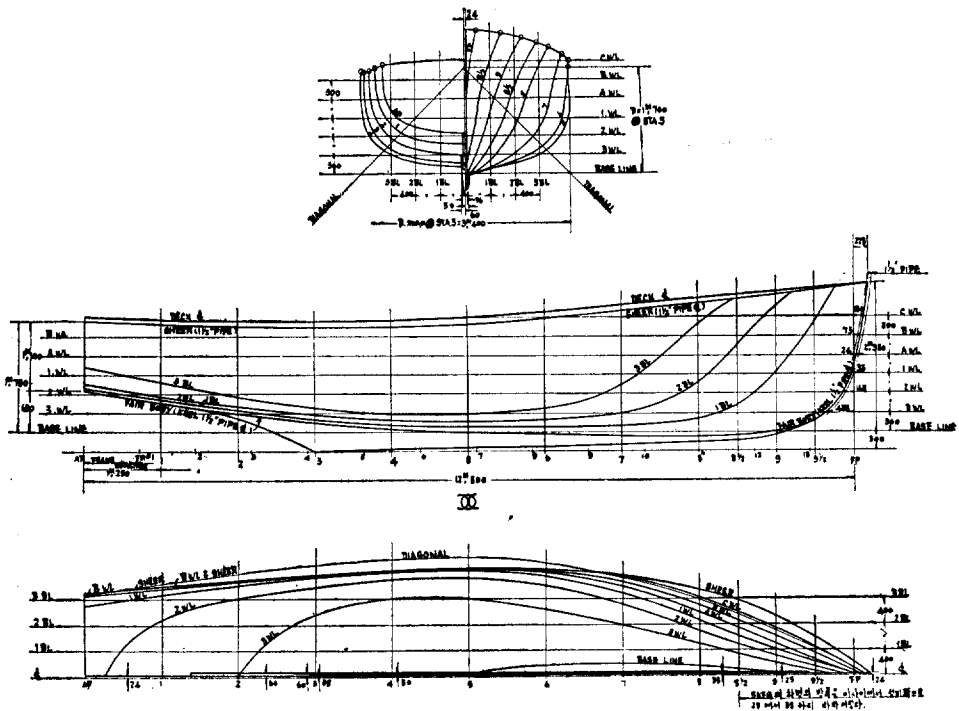


Fig. 1 16 ton 급 항내 잠역선의 선체 선도

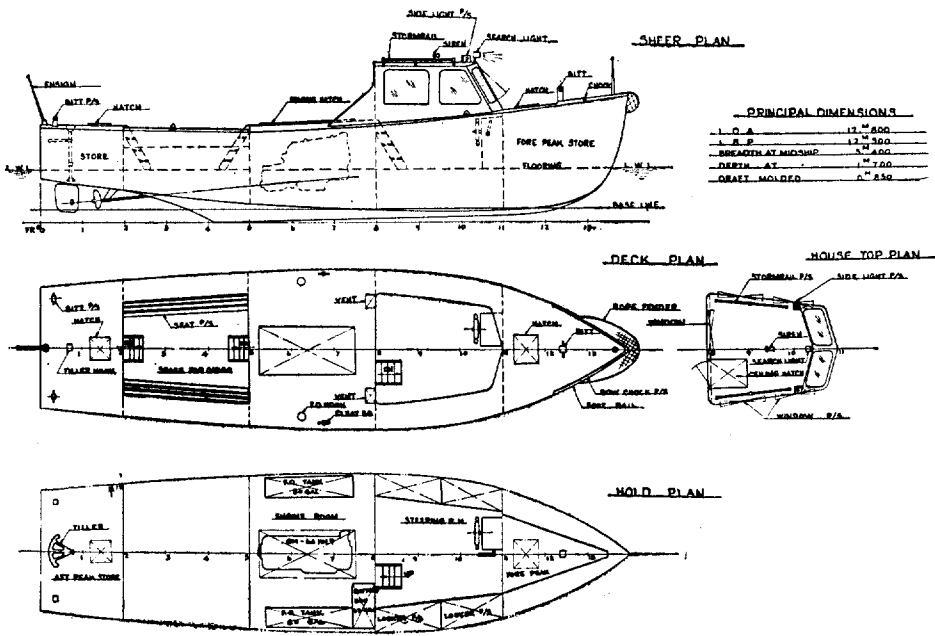


Fig. 2 16 ton 급 항내 잠역선의 일반 배치도

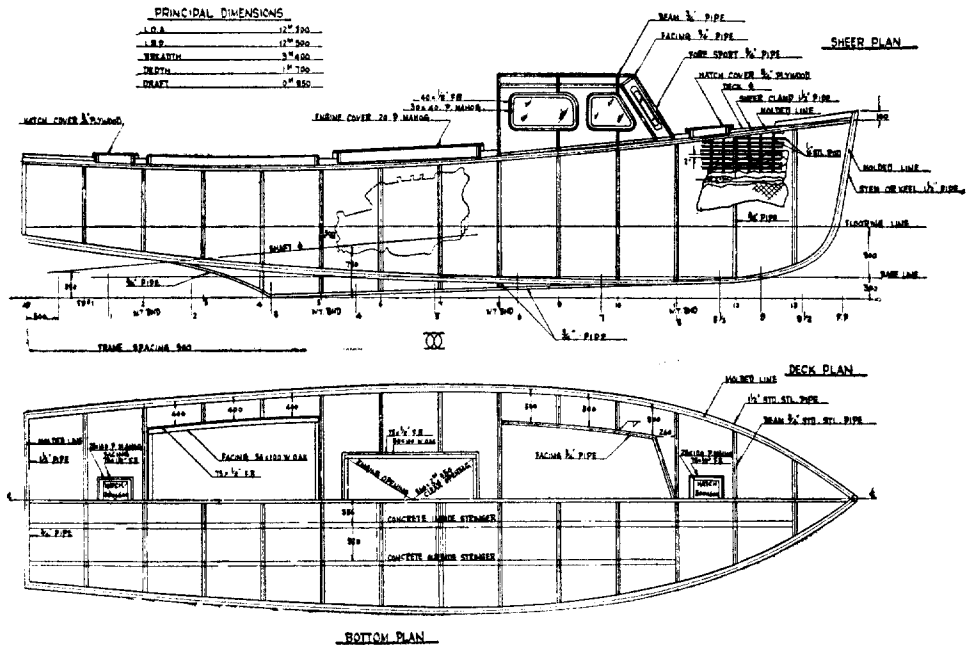


Fig. 3 16 ton 급 항내 잠역선의 구조도

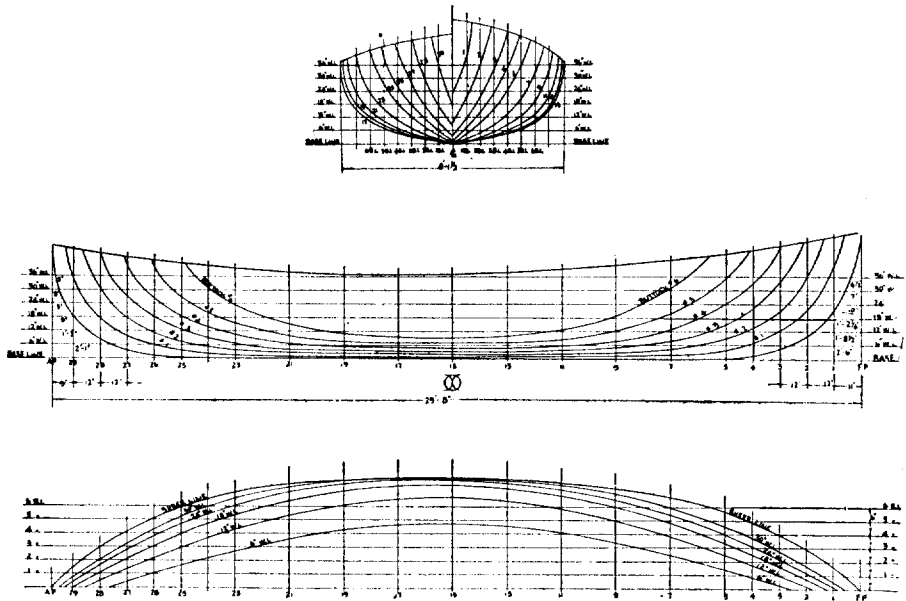


Fig. 4 4 ton 급 생도 훈련용 Cutter 의 선도

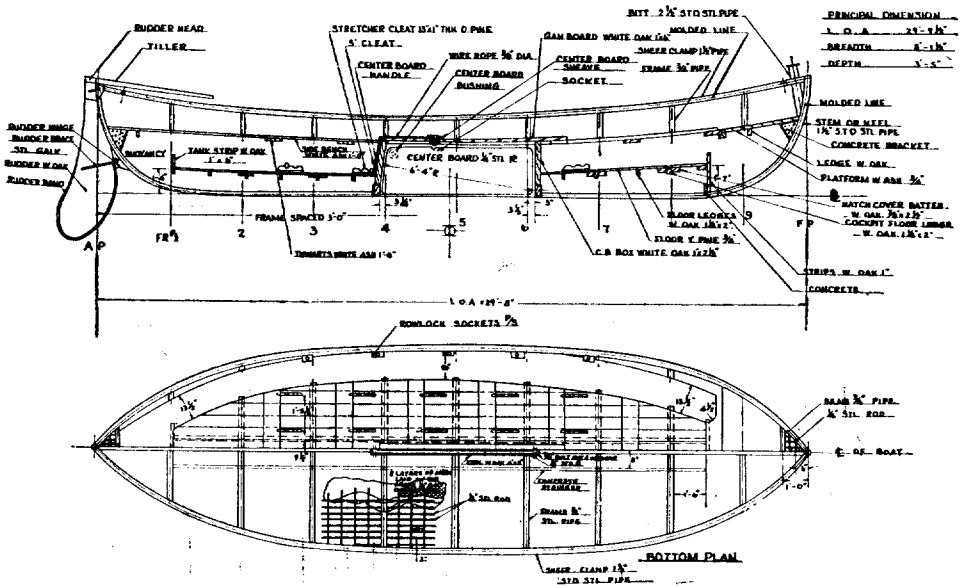


Fig. 5 4 ton 급 생도 훈련용 Cutter 의 구조도



Photo. 1 Cement를 치기직전의 16 ton 급 항내 잠역선



Photo. 2 완공된 16 ton 급 항내 잠역선의 운항 시험 광경

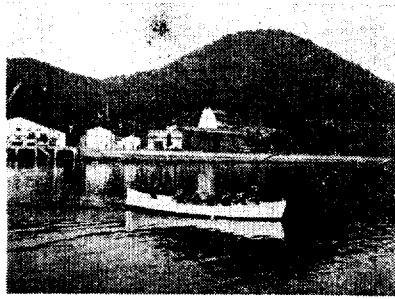


Photo. 3 생도들이 4 ton 급 Cutter 로 훈련하고 있는 모습

3. 제작된 실험 장치 및 기구

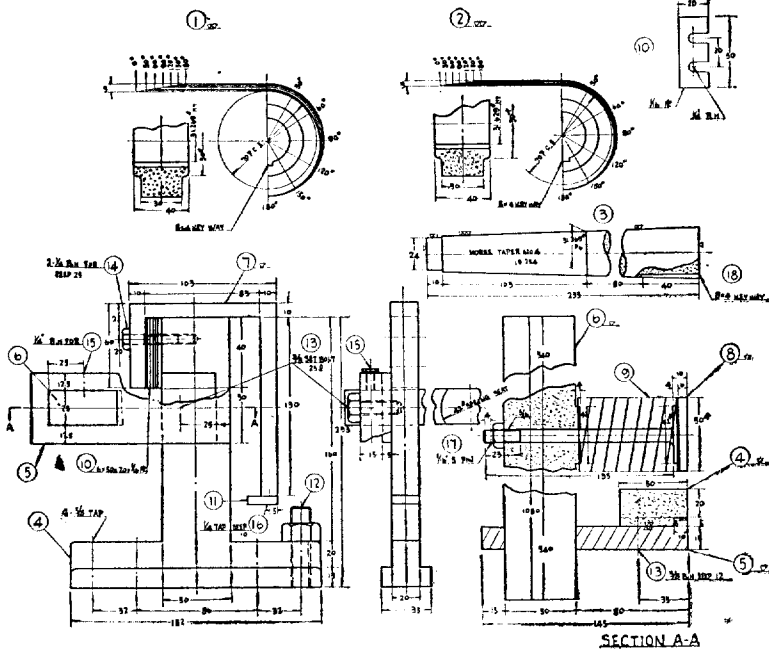


Fig. 6 진동 시험 보조 기구

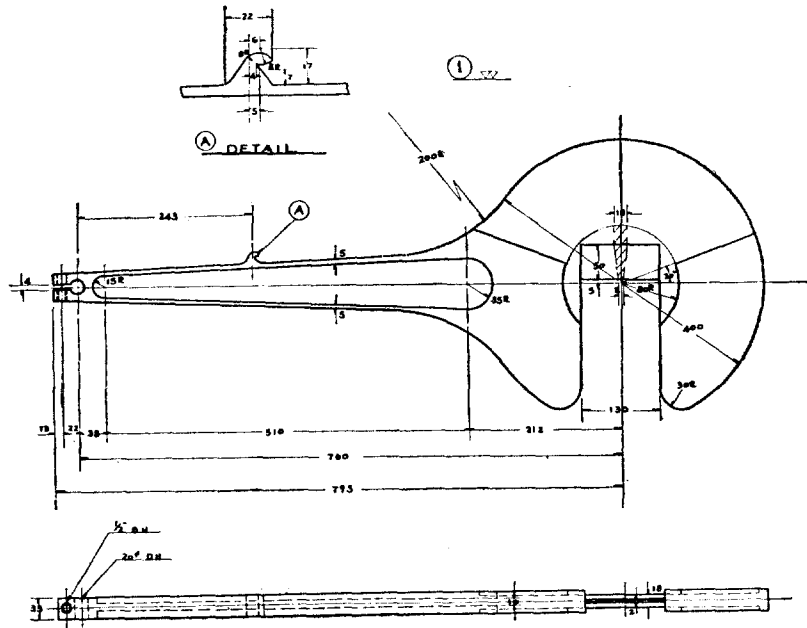


Fig. 7 충격 시험 장치에 사용키 위하여 개량 제조된 후

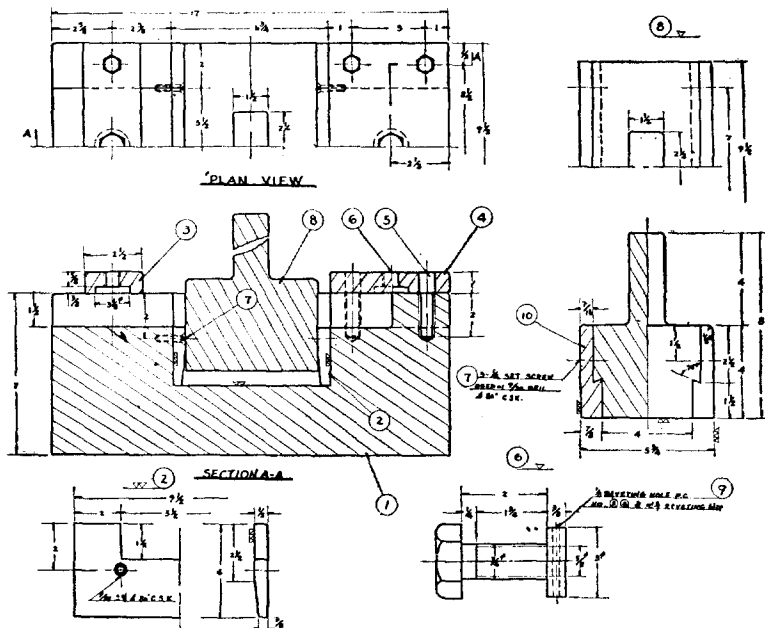


Fig. 8 전단 시험에 사용된 기구

각종 시험 결과 및 평가

1. 굴곡시험

가. 시험편의 크기(길이×폭×두께 inch) 36"×51/8"×1"

나. 구조 조성

7/16" mesh wire 4, 6, 8, 10겹

8/16" mesh wire 4, 6, 8, 10겹

9/16" mesh wire 4, 6, 8, 10겹

다. 시험 조건

Fig. 9 와 같은 조건하에서 최대 굴곡 응력을 구하였으며 다시 변위에 대한 힘을 기록하였다.

라. 시험 장치

Tinius Olsen universal hydraulic testing machine 을 사용하였으며 최대 시험 하중은 120,000 lbs 이다.

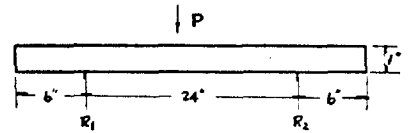


Fig. 9

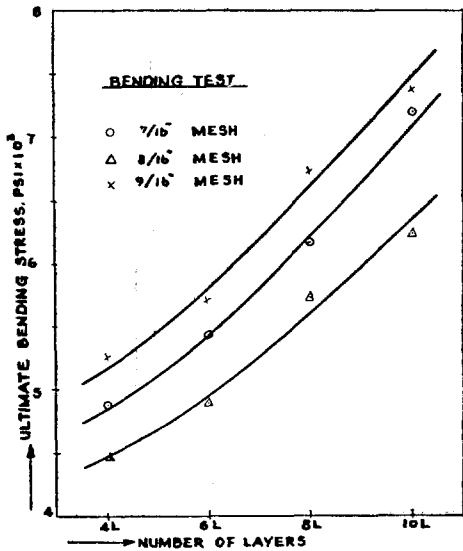


Fig. 10

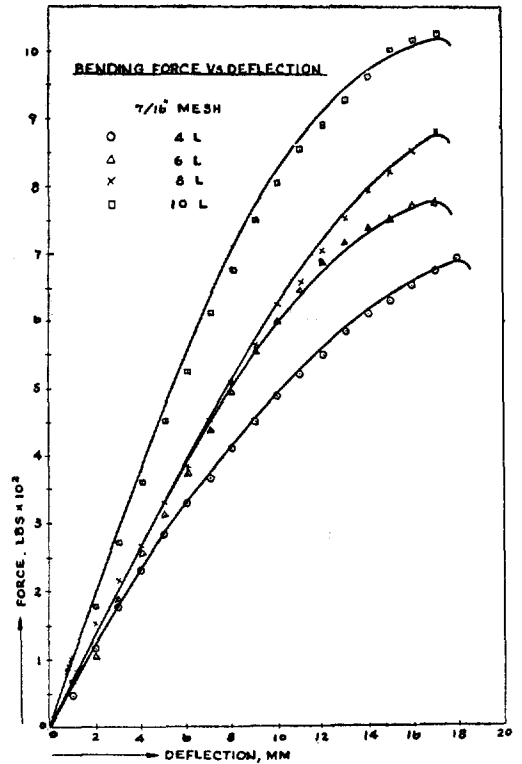


Fig. 11

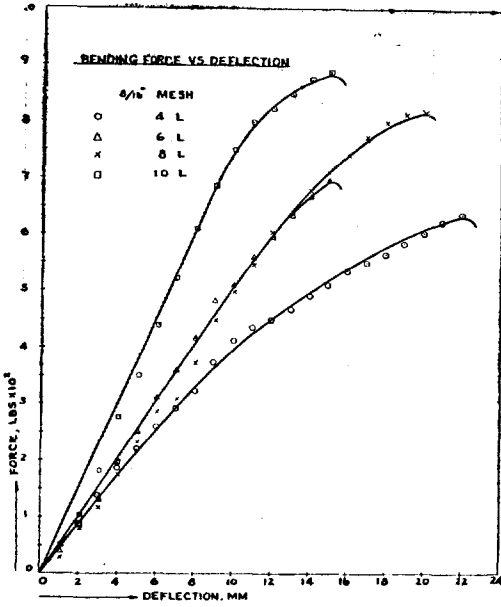


Fig. 12

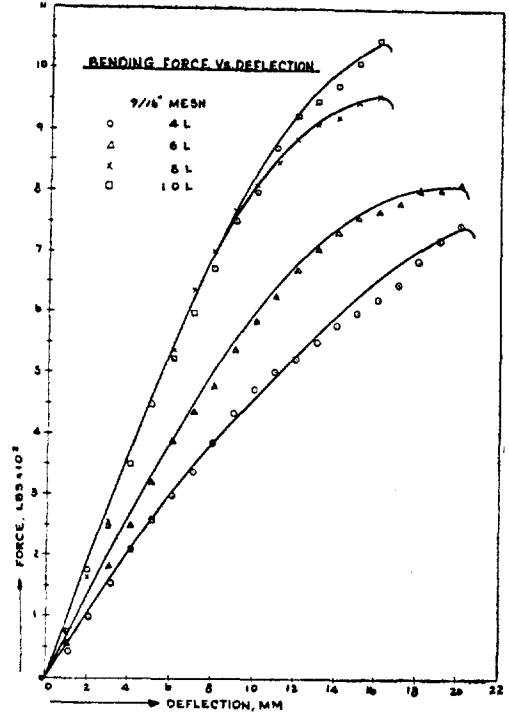


Fig. 13

마. 평가

1. 초기 균열은 각 구조 조성에 따라 다르지만 deflection 7~10 mm 에서 굽힘 하중 400~700 lbs 의 하중에서 일어나고 있음.
2. 초기 균열은 압축측 보다 인장측에서 빨리 일어나고 있음.
3. 최대 굽힘 응력은 강력제로 조성된 철환봉과 철망의 영향으로 철망의 겹수와 철망의 단위 면적당 중량의 증가함에 따라 증가함.
4. ferro-cement 7/16" mesh 8겹과 같은 크기의 목재(비송)와 비교하면 6180:7690(psi)로서 최대 굽힘 응력이 목재의 80.5%로 낮음.

2. 전단 시험

가. 시험편의 크기(길이×폭×두께 inch) 36"×5¹/₈"×1"

나. 구조 조성

7/16" mesh wire 4, 6, 8, 10 겹

8/16" mesh wire 4, 6, 8, 10 겹

9/16" mesh wire 4, 6, 8, 10 겹

다. 시험조건

상기와 같은 기구를 제작하여 최대 절단 응력을 구하였음.

라. 시험 장치

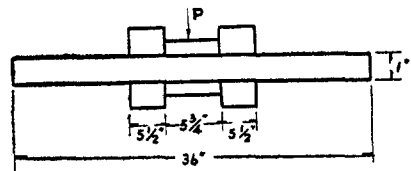


Fig. 14

Tinius Olsen universal hydraulic testing machine 에 상기 기구를 취부 사용하였으며 최대 시험 하중은 120,000 lbs 이다.

다. 평가

1. 최대 전단 응력은 강력재로 조성된 철환봉과 철망이 몰타르와 결합된 상태가 파괴될 때 일어나며 가장 늦게 전단되는 철환봉의 완전 전단시에 일어나지는 않음.
2. 최대 전단 응력은 철망의 겹수와 철망의 단위 면적당 중량의 증가함에 따라서 증가함.
3. Ferro-cement 7/16" mesh 8 겹과 같은 크기의 목재(미송)와 비교하면 2965 : 2780(psi)로서 최대 전단 응력이 목재의 107%로 약간 높은 상태임.

3. Ferro-cement 시편에 준 힘을 미송(Oregon pine) 시편에 주었을 때의 각종 중량 비교

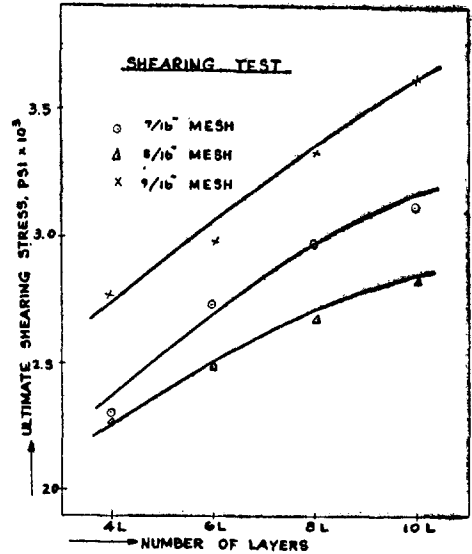


Fig. 15

Table 1 같은 두께(1")의 ferro-cement 와 목재(Oregon pine)의 중량 비교표

Wire Size	7/16"				8/16"				9/16"				
	mesh. No.	4	6	8	10	4	6	8	10	4	6	8	10
Weight of ferro-cement test piece(kg)		7.520	7.750	8.040	8.150	7.30	7.45	7.75	7.95	7.520	8.070	8.350	8.750
Ratio of weight W/C in %		19.9	19.4	18.6	18.4	20.5	20.1	19.4	19.0	19.9	18.5	17.9	17.1

*wood의 무게는 1.5kg으로 했음.

W: weight of wood

C: weight of ferro-cement

Table 2 동일한 굽힘 모우먼트를 가하여 각 sample이 제작기 고유의 최후 굽힘 응력을 받을 때의 목재(Oregon pine)와 ferro-cement의 중량 비교표

Wire size	7/16"				8/16"				9/16"				
	Mesh. No.	4	6	8	10	4	6	8	10	4	6	8	10
Plastering wt of ferro-cement(kg)		7.520	7.750	8.040	8.150	7.30	7.45	7.75	7.90	7.520	8.070	8.350	8.750
Tested max. bending moment (lbs-in)		4170	4650	5280	6150	3825	4200	4905	5325	4500	4875	5760	6300
Thickness of wood (in)		0.798	0.827	0.898	0.978	0.750	0.784	0.865	0.902	0.829	0.864	0.937	0.980
Weight of wood (kg)		1.197	1.240	1.347	1.467	1.125	1.176	1.297	1.353	1.243	1.296	1.405	1.470
Ratio of weight W/C in %		15.8	16.0	16.7	18.0	15.4	15.8	16.7	17.1	16.5	16.0	16.8	16.8

*W: weight of wood

C: weight of ferro-cement

Table 3 동일한 전단력을 가하여 각 sample이 제작기 고유의 최후전단응력을 받을 때의 목재 (Oregon pine)와 ferro-cement의 중량 비교표

Wire size	7/16''				8/16''				9/16''			
	4	6	8	10	4	6	8	10	4	6	8	10
Mesh. No.	4	6	8	10	4	6	8	10	4	6	8	10
Plastering wt. of ferro-cement(kg)	7.460	7.995	8.070	8.090	7.20	7.50	7.72	7.81	7.545	8.000	8.045	8.855
Tested max. shearing force(lbs)	11750	18962.5	15200	16050	11700	12800	13650	14550	14200	14700	17000	18500
Thickness of wood (in)	0.825	0.980	1.066	1.126	0.822	0.897	0.958	1.022	0.996	1.068	1.192	1.298
Weight of wood(kg)	1.237	1.470	1.599	1.689	1.233	1.345	1.437	1.533	1.494	1.602	1.788	1.947
Ratio of weight W/C in%	16.6	18.4	19.8	20.9	17.1	17.9	18.6	19.6	19.8	20.0	21.1	21.9

*W: weight of wood

C: weight of ferro-cement

4. 충격 시험

가. 시험편의 크기(길이×폭×두께 inch) 4''×3''×1''

나. 구조 조성

7/16'' mesh wire 4, 6, 8, 10겹

8/16'' mesh wire 4, 6, 8, 10겹

9/16'' mesh wire 4, 6, 8, 10겹

다. 시험 조건

라. 시험 장치

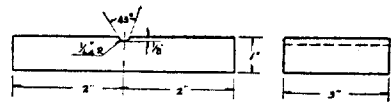


Fig. 16

Charpy impact tester를 사용하였으며 pendulum hammer를 개조 제작하였으며 기존 pendulum과의 calibration을 하였다. 이때 test piece를 고정 위치에 두고 실험 하였으며 시험용량은 30kg-m이다.

마. 평가

- 충격치는 강력재료 조성된 철망의 영향을 직접 받고 있으며 철망의 겹수와 철망의 단위 면적당 중량의 증가함에 따라서 증가함.
- 철망을 제외한 몰타르와 목재의 충격치 비교는 목재의 1/8 정도이다. ferro-cement 7/16'' mesh 8겹과 같은 크기의 목재(미송)와 비교하면 1.039 : 0.475(kg-m/cm²)로서 충격치가 목재의 2220%로 높은 상태임.

5. 진동 시험

가. 시험편의 크기(길이×폭×두께 inch)36''×5 1/8''×1''

나. 구조 조성

7/16'' mesh wire 4, 6, 8, 10겹

8/16'' mesh wire 4, 6, 8, 10겹

9/16'' mesh wire 4, 6, 8, 10겹

다. 시험 조건

다음과 같은 장치를 가지고 초기 균열 시간을 측정하였다.

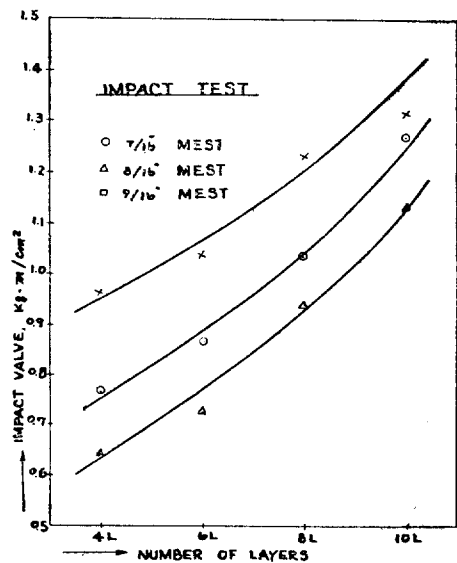


Fig. 17

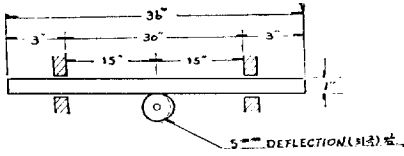


Fig. 18

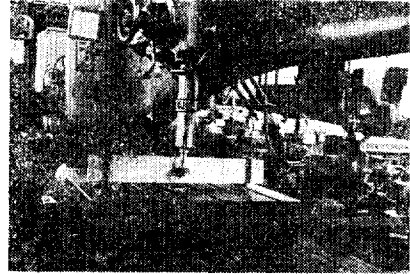


Photo 4 진동 시험 실시 광경

다. 시험 장치

Boring machine

rpm: 14~710

제작회사: Hamburg Rieckermann (vibrator로서 ecentric cam 을 사용하였으며 그 반대쪽에 spring force를 주어 주기적인 진동을 하도록 기도하였다.)

마. 결과치

Table 4

시 험 편	캠의 rpm	균 열 시 간	총 사이클 수	비 고
7/16" mesh 4 layers	710	50 min	35.5×10 ³	초 기 균 열
7/16" mesh 6 layers	710	70 min	49.7×10 ³	초 기 균 열
7/16" mesh 8 layers	710	80 min 30 sec	57.2×10 ³	초 기 균 열
7/16" mesh 10 layers	710	100 min	71.0×10 ³	초 기 균 열

6. Mock-up 시험

1. 주요 치수

- 가. 길이 3.600 m
- 나. 폭 2.000 m
- 다. 깊이 1.000 m
- 라. 선체두께 1 inch
- 마. 배수량 3670 lbs.

2. 구조조성;

실선 제작에 사용될 1/4" 철환봉 3/4" 파이프 1 1/4", 그리고 8/16" mesh: 8 layers 를 사용하였음.

3. 시험 종류

가. 실선 제작 연습

실선 제작상 문제점을 발견하고 해결책을 연구 검토하였음.

나. 방수 시험

Mock-up 내부에 해수를 가득넣고 24 시간동안 누수 개스 유무를 검사하였음.

다. 응력 측정 시험

Mock-up 의 최대 변형점을 중심으로 strain gauge 를 부착하여 응력과 변형을 측정할 것을 시도하였으나 40 ton 이상의 집중 하중 작용이 실제적으로 어려워져 측정불가하였고 30 ton 이하의 집중하중을 길이 방향의 중앙 단면상에 작용하였으나 변형이 없었음. 계산상으로는 약



Photo. 5 Mock-up 시험 광경

70 ton 이상의 집중 하중이 가해져야지만 응력이 나타날 것임.

건 조 과 정

1. 설계선택

Ferro-cement boat를 건조하기 전에 먼저 하여야 할 것은 우선 용도에 알맞는 boat의 설계를 택해야 할 것이며 ferro-cement boat로서 적합한가를 전문가에게 문의하는 것이 가장 최선의 방법이다.

2. 건조 장소

가능하면 옥내에서 건조함이 좋으나 반드시 그럴 필요는 없다. 많은 ferro-cement boat가 야외에서 성공적으로 건조되었으며 이때 유의해야 할 것은 쾌청한 날씨에 cement를 처야한다는 것만 유의하면 된다. 그러나 될수 있으면 임시적이거나 태양광선을 피할 수 있는 지붕(천막) 등이 설치되면 열팽창 문제등에 신경을 쓰지 않아도 되고 또 균열문제도 과히 신경을 쓰지 않아도 될 것이다.

3. 현도와 늑골형취

보통의 경우 선도는 실체에 맞추어 현도한 다음 이 현도에 맞추어 늑골(3/4" steel pipe)을 형취해야 하나 amateur builder들은 현장에서 직접 구미에 맞게 lines를 조정할 수도 있는 문제이다. 그러나 선형이 가져오는 건조후의 여러가지 영향(속력, 복원력 등)을 잊어서는 아니된다.

4. 취 부

제일 단계의 작업이 형취된 frame을 용골(1 1/2" steel pipe)과 beam(3/4" steel pipe)에 용접 취부하는 것이며 이는 가장 정확을 기해야 하기 때문에 까다로운 작업의 하나가 될 것이며 모든 촌법의 기준이 되기 때문에 성의를 다해야 한다.

제 2 단계의 작업이 수평방향의 종통재(rebar-1/4" steel rod)를 주어진 간격(약 2"가 적함)으로 frame에 취부하는 것이며 이때 취부는 tie wire(18 gauge annealed wire)로 잡아맨다.

제 3 단계에 가서 수직 방향 보조 frame을 역시 수평방향의 종통재와 같은 steel bar로서 약 6" 간격으로 넣어준다. 마지막으로 meshed wire(or chicken wire) 22번선, 1/2 mesh wire를 안쪽으로 4 겹밖으로 4 겹 치는데(생도 혼련용 cutter에는 중량을 줄이고 또 강력이 그다지 많이 요구되지 않는 고로 안쪽으로 3 겹 바깥으로 3 겹을 치었음). 이때 주의해야 할 것은 tie wire를 잘 치어서 두께를 줄일 수 있도록 노력을 하고 또 망의 구멍과 구멍이 서로 엇갈리도록 해야한다. 특히 주의할 요하는 것은 meshed wire(or chicken wire) 앞으로 M/W로 기록하겠음)의 끝부분이 바깥쪽으로 나오지 않고 안으로 꾸부러져 박히겠끔 해야한다. 나중에 cement를 치고 나면 끝부분이 외면에 노출되기 쉽고 누수의 원인이 된다. 물론 선체의 면이 smooth하고 안쪽으로 요철이 생기도록 공작해야 한다는 것은 상식적인 문제이다.

5. 기관대 설치

기관대는 선체와 일체가 되게 할 수 있으며 단순히 rebar와 M/W를 가지고 앞뒤 격벽에 연결지어 시공할 수 있다. 물론 직접 기관을 선체와 결부된 세멘트 기관대에 bolt를 사전 취부함으로써 올려놓을 수도 있지만 필자는 진동 흡수 및 ferro-cement의 powdering effect를 적게 하기 위하여 liner로서 나무(적목)를 넣도록 권의한다. liner를 넣을 때도 역시 liner 취부 bolt만은 사전에 cement를 치기전에 M/W에 취부해 놓는 것이 좋다. 이때 축관 및 strut 등을 사전에 건심 설치해야 할 것이다.

6. 의 장

보통의 배라면 의장은 나중에 하는 것이 통례이지만 ferro-cement boat는 cement를 치기전에 선체에 취부될 것과 관통멍등은 필히 일찍 해야 한다. 특히 전선 배관 관통구(기관 냉각수 흡입구 및 배출구 등)은 사전계획이 되어있어 cement가 굳고난 다음 다시 부수고 설치하는 일을 해서는 불필요한 공수가 소요될 것이다. 그리고 더관상에도 좋지 않고 방수에도 이롭지 못하다.

7. Cement

한국산 cement 모두 품질이 좋고 ferro-cement 건조용에는 적합하다. 그러나 방수를 위하여 분말형 방수제(상표; 영발리 분말 방수제 추천함)를 cement의 20분의 1에 해당하는 무게를 첨가제로 사용함으로써 그

성과를 얻을 수 있고 특히 조직도 조밀해져서 강력에도 도움이 된다. 영발리 분말 방수제의 분석 조성을 보면 85% 이상이 석회석(CaCO₃)으로서 외국 문헌에 보는 Pozzolan clay라 하는 것이 이 류에 속한다. 영발리 방수제 외에도 기타 방수제가 사용 가능하나 석회석이 주성분이라야 할 것이고 방수가 되어야 한다는 전체 조건이 따른다.

8. 모 래

모래는 유기성 물질이 거의없고 모가 나고 깨끗하고 견고한 것이 좋으며 가장 큰 것이 8 mesh-number를 통과하고 10 내지 15%의 고운 모래는 100 mesh-number를 통과하는 것이어야 하겠다.

9. 물

물은 반드시 음표수로서 적합한 물을 사용해야 한다.

10. 반 죽

Cement와 모래의 용적비율은 1:15 이면 가장 좋겠다. 물과 cement의 중량 비율은 0.4 이면 좋으나 너무 물이 많으면 강력이 약해지고 너무물이 없어도 M/W 사이에 응착하기가 힘들고 또 강력도 약해진다. cement 일을 많이 해본 경험자는 slump test를 하지 않고도 가장 좋은 상태의 반죽을 얻을 수 있지만 초보자는 concret 교시에 나와있는 slump test를 하는 것이 좋다. 이때 반드시 방수 분말을 cement 무게의 1/20침가 하는 것을 잊어서는 아니 하겠다.(각기 방수제에 나와있는 용법 지시를 따르면 가장 좋다) 물론 잘 혼합되도록 반죽을 하는 것이 일정한 강도와 좋은 수방을 얻을 수가 있다.

11. 세멘트 치기

세멘트는 우선 충분히 M/W 사이 사이에 들어 배기계 힘을 가하여 치고 힘에 겨운 장소에는 vibrator를 사용하여 응착한 다음 smooth한 표면을 얻기 위하여 끝손질을 한다. 세멘트 치기의 순서로서 우선 상부 천정부터 밑에서 치고 결벽, 선체, 선지로 내려가며 치고 deck 및 갑판 top side는 맨 나중에 친다. 이때 세멘트가 밑에 떨어져 마르고 부스러진 것이 쌓이게 되므로 미리 종이등을 준비 밑에 깔았다가 걸러내는 것이 좋으며 선지의 강력 및 방수에 좋다.

12. 양생(curing)

Cement의 양생 기간과 양생 방법은 그 boat의 강도와 밀접한 관계가 있다. 최소한 21일로부터 28일간의 양생 기간이 소요되며 이 때 줄곧 선체 내외부가 눅눅(wet)해 있어야 하므로 매우 노력이 든다. 보통의 경우 살수 장치를 해서 물을 줄 수도 있고 가마니 등을 덮어 물을 충분히 주어 일광에서 피하고 boat를 습기차게할 수도 있다. 좀 돈이 드는 방법은 steam을 사용하는 방법인데 이는 대기압주들이 양생 기간을 단축하고 강도를 높이기 위하여 택할 수 있는 방법이다.

13. 수방 시험

선체 내부에 물을 응착하고 out side에서 물이 새어 나오거나 스며나오는 데가 없는지 시험하면 좋다.

14. 방수시험에 합격되면 외면을 carborundum stone이나 carborundum sand paper로 갈아 미끈하게 손질한다.

15. 산으로 세척

선체 외부의 손질이 끝나면 곧 5내지 10%의 희석된 염산으로 씻어 내리고난 다음 물로 세척하고 다시 5내지 10%의 희석한 가성 소다액 으로 씻어 내리고난 다음 다시 물로 세척한다.

16. 도 장

물로 세척하고 나서 마르면 epoxy를 선체 외부에 도장하며 수선 하부에는 두번 칠한다. 이는 수방에 아주 좋다. 그리고 epoxy가 다 마르기 전에 추천된 각종 paint를 칠하되 청지 도장(A/C paint)만은 필요 없다.

17. 다음 모든 기관을 탐제하고 의장 공사를 하면 곧 진수할 수 있을 것이다.

Note;

- 1. 세멘트가 일단 마른 다음 다시 세멘트를 쳐야할 경우(다음 날 공사 진행 혹은 보수를 위하여 venysol이란 접착제를 한번 도포하고 세멘트를 치면 잘 집착된다.)
- 2. 동계철에 세멘트를 치지 말것.

결 론

1. Amateur builder 로서 20 ton 이상의 ferro-cement boat 를 건조하고자 함은 무리이며 가장 적합한 것이 10 ton 내외라고 본다.
2. 필자가 계제한 여러 가지 구조도 및 자재는 30 ton 내외에서 적합하며 30 ton 이상이 될 때에는 전문가의 설계가 요구되며 특히 100 ton급까지 커지려면 strength member 를 ferro-cement 로 하는 것보다 강도도 주구 증량도 감소시키기 위하여 steel plate, steel angle, I-beam 등의 composite construction 이 강력히 요구된다.
3. 특별한 연구를 통하여 어선을 ferro-cement 로 (100 ton 이내) 대체함이 국가적 이익이 될 수 있다고 판단한다.
4. 비록 ferro-cement 의 충격치가 목재보다 2.2 배나 된다고는 하지만 큰 충격을 받았을 때 세멘트가 M/W 에서 유리되어 떨어져나가기 때문에 충격이 예상되는 곳에 rubber fender 등을 주어 하중을 분산시키는 것이 좋다.
5. 전담 응력이 목재의 그것과 비슷하다는 것은 (107% 강) 다른 문헌에서 얻기 어려운 data 를 얻었다고 자부한다.
6. 선체 중량이 고속정에는 문제시되는 분야이며 강선인 경우에도 고속정으로써 부적합하며 특수 경급속을 쓰고 있는 이 때 강판보다 부거운 ferro-cement 를 가지고 속장비(speed length ratio) 2.0 이상을 넘라고 하는 것은 무리인 것 같다. 특히, 충격치가 크다고는 하지만 이는 최대 응력치이고 탄성 한계점이 매우 낮아 M/W 의 외각에 발려져 있는 mortor 가 충격에 의거 부서져 떨어져 나가기 때문에 부적합하고 특히 압축 강력과 인장 강력이 교번으로 작용할 때 아주 위태롭고 약하다.
7. 아직도 선진국에서는 선각 자재의 부족을 느끼지 않고 있기 때문에 ferro-cement 로 배를 만드는 것을 일부에서 흥미삼아 하고 있는 정도이나 단인이 믿고 쓸 수 있는 실용 단계까지는 아직 요원한 감이 있고 또 좋은 강재를 대신할 장점도 그다지 많지 않으므로, ferro-cement 의 대폭적인 boat 건조 자재로서의 각광을 받기에는 아직 많은 문제점이 남아 있는 것으로 안다.

후 감

두위의 ferro-cement boat 를 건조키 위하여 기술적인 애로를 극복하고 주야로 현장에 질주하며 전념한 연구원 김중순 대위의 노고를 다시 한번 감사히 생각하며 많은 협조를 아끼지 않은 설계과장 권순석 소령과 많은 설계 증사자 및 본 공사를 맡았던 전 문무관에게 심심한 사의를 표한다.

BIBLIOGRAPHY

Alexander, D, "A Technical Review of Ferro-Cement Construction," *Commercial Fishing*, Aug. 1967

Anon., "Building Concrete Ships in Prefabricated Forms," *Engineering News-Record*, Vol. 129, 31 Dec. 1942, pp. 902-906

Anon., "Ferro-Cement Boats," *Boating Industry*, Vol. 30, No. 9, Sep. 1967. pp. 131-134

Anon., "Ferro-Cement Boats," *Marine West*, Jan. & Feb. 1968

Anon., "Paint and Waterproofing Applied to concrete Ships," JPP 39-133, *Proceedings CI*, Vol. 39, June 1943, pp. 593-594

Collins, J. F., and J. S. Claman, "Ferro-cement for Marine applications," Presentation before the New England section of the *Society of Naval Architects and Marine Engineers*, Boston, Mass., 7 Mar. 1969

Collins, J. F., "An Investigation into the Importance of Bond Strength in Ferro Cement," *An unpublished Naval Engineer's Thesis*, Department of Naval Architecture and Marine Engineering, M.I.T., 23 May 1969

- Day, Richard, "*How You Can Build a Ferro-Cement Boat*"
- Day, Richard, "Your Next Boat May Be Ferro Cement," *Popular Science*, Sep. 1969
- English, W. J., "*General Comments on the Use of Ferro-Cement in the Construction of Fishing Vessels*," 1968 Conference on Fishing Vessel Construction Material, Montreal, Canada, Oct.
- E-V Associates, Inc., "*Ferro Cement Boat Building and Other Construction*," Miami, Fla., June
- E-V Associates, Inc., "*A Report on Ferro-cement Boat Building and Other Construction*," Miami, Fla., Oct. 1968
- Foughner, N. K., *Sea-Going and Other Concrete ships*, Frowd, Hodder, and Stoughton, London, 1912
- Freeman, J. E., "Developments in Concrete Barges and Ships," *Proceedings, American Concrete Institute*, Vol. 14, 1918, pp.422-427
- Hagenback, T. M., "*Ferro-Cement Boats*," Conference on Fishing Vessel Construction Materials, Montreal, Canada, Oct. 1967
- Harper, Q. R., "Concrete Ships Constructed by U.S Shipping Board," *Proceedings ACI*, Vol. 18, 1920, p.83
- Hollister, S. C., "Construction of Concrete Barges for Use on New York State Barge Canal," *Proceedings, ACI*, Vol. 15, 1919, p. 289
- Hurd, M. L., "Ferro-cement Boats," *Journal of the American Concrete Institute*, Vol. 66, 3 Mar. 1969
- John Samson & Geoff Wellens, "*A Manual of Ferro-Cement Boat Building*," Samson Marine Design Enterprises Ltd.
- Kelly, A. M. and T. W. Mouat, "*Ferro-Cement as a Fishing Vessel Construction Material*," Conference on Fishing Vessel Construction Materials, Montreal, Canada, Oct. 1968
- Leone, A. D. "Ferro-cement" June 1970
- Macleahy, Francis R., "Thin Wall Concrete Ship Construction." *Proceedings ACI*, Vol. 46, Nov. 1949, pp. 193-204
- Manning, A., "First N.Z. Made Concrete Boat," *New Zealand Concrete Construction*, Vol. 7, No. 2, 12 Feb. 1963, pp. 23, 24
- Muhlert, H., Jergovich, and J. F. Coleman, "*Ferro-Cement Trawler, Design Study Report*," Unpublished Report, Dept. of Naval Architecture and Marine Eng, The University of Michigan, 1968
- Nervi, P.L., "*Ferro-Cement: Its Characteristics and Potentialities*," Cement and Concrete Association, London, Library Translation 60, 1956
- Narvi, P. L., "Small Craft Construction in Ferro-Cement," *Shipbuilding and Shipping Record*, Vol. 88, No. 12, 1956
- Pinto, John E. and D. A. Perry, "Ferro-Cement, Its Potential For Naval Craft," *NAVSEC*, 15 July 1969
- Pollock, W., "Reinforced Concrete Vessels," *Trans. R.I.N.A.*, Vol. 60, 1918 R. 138
- Pougnier, N. K., "*Seagoing and Other Concrete Ships*," Oxford Technical Publications, London, 1922
- Samson, John, "*Ferro-cement Boats Construction*," Conference on Fishing Vessel Construction Materials, Montreal, Canada, Oct. 1968
- Samson, John and G. Wellans, "*How to Build a Ferro-Cement Boat*," Samson Marine Design Enterprise Ltd., Ladner, B.C, Canada, June 1968
- Scott, "Concrete Shipbuilding in the United States of America," *Trans. R.I.N.A.*, Vol. 61, 1919
- Smith, Jack, "What Do You Know About Ferro-Cement." *Yachting*, Apr. 1969
- Verney, Michael, "*An Account of a 44ft. Ferro-Cement Fishing Trawler Built by Gordon W, Ellis*," Plastering Industries, Victoria, B., Mar. 1967
- Wig, R.J., "Method of Construction of Concrete Ships," *Trans. S.N.M.E.*, Vol. 27, 1919, p. 1
- Wig, R.J., "Present Status of the Concrete Ship," *Trans. S.N.A.M.E.*, Vol. 26, 1918, p. 185