

QFD 방법을 이용한 변경 설계

양영순 <서울대 조선해양공학과 교수>

장범선 <서울대 조선해양공학과>

1. 서론

현대 사회가 다원화됨에 따라 제품을 구입하는 고객의 기호도 다양해지며 또한 매스미디어의 영향으로 그 양상도 급변하고 있다. 이에 따라 제품 개발자는 신속하고 유연한 마케팅 조사를 통해 고객의 기호를 뒤쫓아야 하며 다품종 소량 생산체제를 바탕으로, 다양한 제품의 신속한 신제품 개발에 치중해야 할 것이다. 아울러 새로운 시장을 개척하기 위해서는 기존 경쟁 제품과의 차별화 전략에도 힘써야 할 것이다.

이러한 고객 중심적인 제품기획을 위해서는 필요한 정보를 체계적으로 수집하고 고객의 가치에 대한 정확한 판단이 필요하다. 특히 얼마나 고객의 의사를 정확히 반영했는가는 음식의 양념과 같이 최종 결과에 지렛대 역할을 할 수 있다. 즉 최첨단의 기술력과 새로운 아이디어의 창출도 중요하지만 그 이전에 제품의 개발 방향에 대한 정확한 좌표 설정은 무엇보다도 중요한 인자가 되고 있다.

제품설계 측면에서는, 전혀 다른 개념의 제품을 발명하려는 노력보다는 기존의 기능을 강화, 통합하거나 새로운 기능을 추가하는 등의 제품 개선을 통한 신제품 개발에 치중하고 있다. 즉, 혁신설계 (innovative design)보다는, 경쟁 제품과의 벤치마킹, 고객의 요구 변화 등에 기초한 기존 제품의 변경설계 (adaptive design)가 실 설계자들에게 더 많은 관심의 대상이 되고 있다.

특히 선박이나 건축과 같은 주문 생산의 경우

과거 실적 data를 현재 주문자의 요구에 따라 수정, 변경하는 과정이 실 설계 업무의 대부분을 차지하고 있다. 이에 따라 설계 방법들도 이러한 과정을 효과적으로 지원해줄 수 있는 방향으로 개발되어야 할 것이다.

본 연구에서는 형상 변경설계에 QFD (Quality Function Deployment)[1][2][3][4][5]를 적용시킴으로써 그 활용 가능성을 확인하고 HOQ(House of Quality) 구축시 고객의 기호의 체계적인 평가를 위해서 AHP(Analytic Hierarchy Process) 기법을 적용시켰다[6].

2. QFD와 변경설계(Adaptive Design)

2.1 QFD의 특징

개념설계의 어떤 부분과 QFD의 특징이 부합하는지 그리고 QFD를 어떻게 응용하여 적용시킬 수 있는지를 찾는 것이 이 글의 목적이라 할 수 있다. 먼저 QFD의 특징을 다음과 같이 나열해 보았다.

첫째, QFD는 '고객이 무엇을 원하는가'를 가장 중요시하는 시스템이다. QFD는 고객의 요구조건으로부터 출발한다. 즉 고객의 요구조건을 다양한 조사 방법에 따라 추출해내고 그 중요도를 평가하는 것에서부터 출발하여, 이들을 제품과 생산에 효과적으로 반영시킬 수 있는 시스템이라 할 수 있다. 또한 QFD를 통해 고객의 요구조건에 대한 경쟁사와의 비교, 현 제품의 평가, 앞으로의 목표 등을 설정할 수 있다. 이로부터 제품의 개선

특집 II 새로운 개념에 의한 설계지원기술

방향을 설계 초기에 정확히 포착함으로써 제품의 성공 가능성을 극대화시킬 수 있다.

둘째, 고객의 요구조건과 설계 요구조건의 관계를 파악함으로써 제품의 품질을 향상시키기 위해서 어떤 설계 요구조건을 향상시켜야 하는가를 알아낼 수 있다. 이 과정에서는 고객의 불만에 귀를 기울임으로써 제품이 갖추어야 하는 일반적인 요구조건(고객의 요구조건과 직접 관련된 기능) 외에 새로운 요구조건을 추가시킬 수 있다. 즉 사용 중에 새롭게 불거져 나오는 불만 사항들을 해소하기 위해서 어떤 기능들을 더 추가해야 하는가를 정확히 포착하는 것이 품질 향상에 큰 관건이라 생각한다.

셋째, 설계 요구조건과 제품의 특징이나 부분과 어떻게 관련이 있는가를 파악함으로써 특정한 설계 요구조건을 향상, 만족시키기 위해서 어떤 부분, 어떤 특징을 개선해야 하는가에 대한 정보를 얻을 수 있다. 특히 하나의 요구조건에 대해 다양한 제품 특징이 관련 되어 있을 경우, '어떤 것을 수정하는 것이 그 요구 조건의 향상에 가장 효과적이며 다른 기능을 저하시키는 부작용이 적은가?' 에 대한 전체적인 관계 파악에 많은 도움을 줄 수 있다.

이와 같이 QFD를 통해 기존의 제품을 향상시키고자 할 때, '어떤 고객의 요구조건을 향상시킬 것인가?' 에서부터 '어떤 부분을 개선해야 하는가?' 까지를 전체적으로 파악할 수 있다. 즉, QFD는 기존 제품의 품질을 향상시키는 체계적인 방법이라 할 수 있다. 그런 면에서 개념설계 중 변경설계(Adaptive Design)에 이용하기 적합하다.

2.2 형상 변경설계 과정에서 QFD 활용

그렇다면 앞에서 언급한 QFD 형상 변경설계 과정에 적용시킴으로써 어떠한 효과를 기대할 수 있는지 생각해보자.

첫째, 고객의 요구 조건에 대한 분석을 제품 설계의 바탕에 둬므로써 고객의 목소리에 귀를 기울

일 수 있다는 점이다. 즉 QFD의 첫 번째와 두 번째 특징에 초점을 맞추는 것이다. 기존의 기능설계에서는 설계 요구 조건만이 있을 뿐 고객의 요구조건이 빠져 있다. 이는 어떤 제품이 가져야 하는 기능을 반드시 고객에서 묻지 않더라도 충분히 예상할 수 있고 이것이 설계 요구조건과 크게 다르지 않다는 생각 때문이라 할 수 있다. 하지만 경쟁 제품과 차별화를 위해서는 제품이 갖는 일반적인 기능뿐만 아니라 고객의 불만에서 비롯된 새로운 기능을 추가해야 할 필요가 있다. 예를 들어 자동차의 문이 갖는 일반적인 기능은 모두 같다. 하지만 고객의 목소리에 조금만 더 귀를 기울인다면 새로운 요구를 알아낼 수 있다. '경사진 곳에서는 문을 쉽게 여닫을 수 있도록 해야 한다'거나 '아이들의 장난을 막기 위해 안에서 열리지 않도록 해야한다' 등이다. 이러한 추가된 기능을 만족시키기 위해서 대부분의 경우 특정한 부분을 변경 혹은 추가해야 할 것이다. 이와 같은 과정은 물론 반드시 QFD를 통해야만 가능한 것은 아니다. 더욱이 기존 제품을 어떻게 변경해야 하는가에 대한 아이디어가 중요하다 할 수 있다. 하지만 앞에서 언급한 내용들은 QFD의 본질적인 개념과 특징이라 할 수 있다. 즉 품질 향상을 위한 제품의 개선은 철저하게 고객의 의사에 기초한다는 개념을 변경설계(Adaptive Design)에 도입함으로써 좀더 효과적이고 체계적인 설계가 가능하리라 기대된다.

둘째, 제품의 각 부분과 기능과의 관계를 파악함으로써 전체 변경 과정에 대한 '지도(map)' 역할을 할 수 있다. QFD의 세 번째 특징에서 비롯된 것이다. 특히 거대한 구조물과 같은 non-modular 시스템의 경우 각 요소들과 기능들 간에 일대일 대응이 되기 어렵다. 즉 하나의 요소가 여러 기능들을 담당하거나 혹은 하나의 기능을 여러 요소들이 동시에 담당하기도 한다. 따라서 하나의 기능을 강화하기 위해서 어떤 요소의 형상을 변경해야 할 경우 그 요소가 맡고 있는 다른 기능

들을 동시에 고려해 변경해야 한다. 또한 목적하는 기능 외에 부수적으로 발생하는 성능의 변화에 따라 2 차적으로 특정 부분을 수정해야 하는 경우도 발생한다. 이처럼 복잡하게 얽힌 기능과 요소와의 관계를 미리 파악해두고 형상 변경시 이를 고려할 수 있다면 설계 후기에 재 수정해야 하는 우를 최대한 피할 수 있다.

2.3 QFD에서 AHP기법의 활용

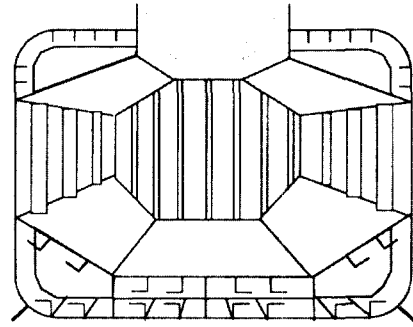
여러 가지 요소들의 상대적인 중요성을 평가할 때 AHP 기법은 평가의 상대적인 속성을 최대한 살릴 수 있는 일대일 비교를 기본으로 하고 있다. 즉 모든 가능한 일대일 조합을 제시하고 각각에 대한 평가를 내리도록 유도함으로써 간접 비교에서 올 수 있는 부정확함을 최대한 배제하고, 좀더 신중하고 정확한 판단을 내리도록 한다. 또한 그 속성들의 수가 많을 경우 그룹을 지어 계층을 형성함으로써 그 평가의 체계화를 유도할 수 있다.

QFD에서 고객의 요구에 대한 비중을 결정할 때 AHP 기법을 이용함으로써 평가의 정확화, 체계화를 꾀할 수 있다. 특히 규모가 크고 복잡한 대상물의 경우 함께 고려해야 할 기능의 수는 상당히 많아지게 된다. 이때 이들의 비중을 한번에 결정하는 방법은 부정확하고 일관성 없는 평가를 유도하기 쉽다. 계층을 형성하고 높은 단계에서부터 차례대로 비교 평가함으로써 일관적이고 체계적인 평가를 할 수 있다. 물론 이러한 비교 평가 이전에 관계자들 간에 충분한 토론을 거쳐 전체적인 계층 구조를 형성하는 작업도 매우 중요하다.

3. 살물선 중앙단면 적용

3.1 AHP 기법을 이용한 HOQ 구축

〈그림 1〉은 살물선의 전형적인 중앙단면 형상이다. 고객의 요구와 설계 요구조건 그리고 제품의 각 요소들에 대한 분석한 후 HOQ를 통해 이들의 관계를 구축해 보았다. 또한 고객의 요구들



〈그림 1〉 Original Configuration

에 대해 계층을 구성하고 AHP 기법을 적용하여 그 상대적인 비중을 평가하였다.

〈그림 2〉는 고객의 요구와 설계 요구조건에 대한 HOQ이며 〈그림 3〉은 설계 요구조건과 중앙단면의 각 요소에 대한 HOQ이다. 〈그림 2〉에서 구축된 고객(선주)의 요구는 그림과 같이 계층구조를 가지고 있다. 다음은 상위 계층에서부터 차례대로 AHP 기법을 적용하여 각 요구들의 상대적인 비중을 결정하는 과정이다. 하위 계층의 요구들의 전체적인 비중(Overall Weight)은 그 요구들의 상대적인 비교를 통해 얻은 비중에, 그것들이 속한 상위계층의 비중을 곱해 구한다.

● Overall

	화물	안정성	비용	운항성	신속한 인도
화물	1	2	2	5	3
안정성	1/2	1	1	4	3
비용	1/2	1	1	4	3
운항성	1/5	1/4	1/4	1	1/3
신속한 인도	1/3	1/3	1/3	3	1

$$WI = \{0.371, 0.234, 0.234, 0.055, 0.105\}$$

$$\lambda_{MAX} = 5.123 \quad C.I. = 0.0309$$

● 화물(0.371)

	용적의 확보	용이, 신속 양하, 선적
용적의 확보	1	2
용이, 신속 양하, 선적	1/2	1

$$WI = \{0.667, 0.333\} \quad \lambda_{MAX} = 2.000 \quad C.I. = 0.0$$

$$OW = WI * 0.371 = \{0.247, 0.124\}$$

특집 II 새로운 개념에 의한 설계지원기술

설계 도구 조건 선주의 요구		선적, 양하 기능				안전성											운항성		건조물 의화			Our Target																	
		최대한의 선적공간 확보	선적양해장구 확보	최물의 분포의 적정성	그레인이 틈새에 끼지않도록	부동우저 투입가	수밀 및 부력 확보	강도					안정성			Floodling 차단	Ballast 조절	청수 및 연료 저장	항동요 주기 완화	진동주기 조절	비용	재료의	공수	제작의 용이성	비중 (%)	Our product	Our Target												
								갑판 모멘트	전단력	비틀림 모멘트	회강도 및 Racking	수압	좌굴	파로파괴	파도의 충격하중													GM	그레인 안정성	건현 높이									
화물	용적의 확보	5				3																				24.7	4	5											
(37.1)	용이, 신속한 선적양하	5	3	3	3	1																																	
안전성 (23.4)	운항시 안정성			1											5	5	5													6.9	5	5							
	침수시 안정성																															3.8	5	5					
	튼튼한 선각						1	5	3	3	3	1	1	5	3																	12.6	4	4					
낮은 비용 (23.4)	낮은 선가																																	15.6	4	5			
	낮은 연료 소모량																																	7.9	5	5			
운항성 (5.5)	Ballast향해 대비								1	1								5																	3.3	5	5		
	운항시 부대공간 확보																																			1.1	5	5	
	적은 흔들림																																		1.1	4	4		
신속한 선박 인도(10.5)																																				5	10.5	5	5
Total		124	62	44	37	37	12	87	66	41	38	38	13	13	63	38	35	35	35	19	37	29	15	3	176	132	153	1382											
%		9.0	4.5	3.2	2.7	2.7	0.9	6.3	4.8	3.0	2.7	2.7	0.9	0.9	4.6	2.5	2.5	2.5	2.5	1.4	2.7	2.1	1.1	0.2	12.7	9.6	11.1	100											

〈그림 2〉 Matrix 1, HOQ of Midship Section

● 안전성(0.234)

	운항시 안정성	침수시 안정성	튼튼한 선각
운항시 안정성	1	2	1/2
침수시 안정성	1/2	1	1/3
튼튼한 선각	2	3	1

$WI = (0.297, 0.163, 0.540)$ $\lambda_{MAX} = 3.009$ $C.I. = 0.005$
 $OW = WI \cdot 0.234 = (0.069, 0.038, 0.126)$

● 운항성(0.055)

	Ballast 향해시 대비	부대공간 확보	적은 흔들림
Ballast 향해시 대비	1	2	1/2
부대공간 확보	1/2	1	1/3
적은 흔들림	2	3	1

$WI = (0.660, 0.200, 0.200)$ $\lambda_{MAX} = 3.0$ $C.I. = 0.0$
 $OW = WI \cdot 0.055 = (0.033, 0.011, 0.011)$

● 비용(0.234)

	낮은 선가	낮은 연료소모량
낮은 선가	1	2
낮은 연료소모량	1/2	1

$WI = (0.667, 0.333)$ $\lambda_{MAX} = 2.000$ $C.I. = 0.0$
 $OW = WI \cdot 0.234 = (0.156, 0.079)$

3.2 형상 변경예

〈그림 2〉에서 설정한 Target 중 선적공간을 크게 하기 위해서 전형적인 중앙단면의 형상을 변경하는 과정을 예로 들어보자. 먼저 〈그림 2와 3〉에서 보듯이 선적공간과 관련된 중앙 단면의 요소는 내저판, 선측외판, 횡격벽, 갑판, 호퍼 탱크, 탑핑 탱크 등이다. 이중 좀더 넓은 공간을 확보하기 위

해서 변경할 수 있는 요소들로 호퍼 탱크, 내저판, 탑핑 탱크를 들 수 있다. 각각에 대해서 다음과 같은 대안을 만들고 그림 3을 바탕으로 관련된 다른 기능에 대한 정성적인 평가를 통해 그 가능성을 확인해 보자.

① Hopper tank의 경사부의 변경 <그림 4>

공간 확보 면에서는 약간 유리하나 경사면을 곡면 처리해야 하는 어려움 뿐만 아니라 늑판 역시 곡면으로 잘라 가공해야 하는 제작상의 어려움이 많다. 특히 이 부분이 배의 길이 방향으로 연속되기 때문에 많은 양의 제작이 필요하다. 또한 경사면의 각도가 작아져 화물의 자유 낙하를 유도하는 기능도 떨어질 뿐만 아니라 늑판의 형상이 곡면으로 바뀌어 Torsion에 대한 저항력도 떨어지게 된다. 따라서 이 요소의 변경으로 인한 이점보다는 훨씬 많은 단점을 낳게 되므로 공간 확보를 위해 이 부분을 수정하는 것은 바람직하지 않다.

② 내저판의 변경<그림 5>

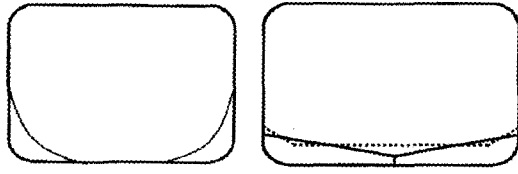
이 대안은 이중저의 내저판과 호퍼 탱크의 경사면을 통합한 형태이다. 화물의 종류가 곡물이므로 내저판이 반드시 수평이어야 할 필요는 없다. 공간 확보를 위해서는 그림과 같이 이중저 공간을 줄여야 한다. 이 경우 내저판의 경사각이 작아져야 하고 곡물의 자유낙하를 위해서는 그 경사각이 너무 작아지게 된다. 또한 이중저 공간을 줄여야 하므로 Ballast 탱크의 여유가 충분하지 않을 경우 적절한 변경이라 하기 어렵다. 강도 면에서도 중앙에

제품의 요소	설계요구조건											비중		
	선적외관	내저판	중심선거더	선측거더	늑판	이중저구조	선측외관	늑물	횡격벽	갑판	해치코우밍		호퍼탱크	탑핑탱크
선적 공간 확보	5					5		5				3	3	9.0
선적, 양하 창구											5			4.5
화물 분리 저장								5						3.2
화물의 자유 낙하 유도												5		2.7
그레인이 틈새에 끼지 않도록	5							5	5					2.7
볼도우저 투입가	5													0.9
수밀, 부력 확보	5						5		5					6.3
강도 확보	굽힘 모멘트	5	5	5	3	1	3		5	1	1	1	1	4.8
	전단력			3	5	5	3		3					3.0
	비틀림 모멘트								5			5	3	2.7
	횡강도								5					2.7
	Racking				5				5			3	3	2.7
	수압	5					5		5					0.9
	좌굴			1	1		1	3	1					0.9
	피로 파괴										1	3	3	4.6
안정성	파의 충격하중	1					5							2.7
	GM					3								2.5
	그레인 안정성											5		2.5
건현						5							2.5	
Flooding 차단	5					5		5					1.4	
운하성	Ballast 조절						5					3	3	2.7
	청수, 연료 저장						5					3	1	2.1
	횡동요 주기 완화											5		1.1
	진동 조절							3	3					0.2
건조 조율 의화	비용 절감	3	3			3	3	3	3					12.7
	재료비													
	공수					3		3	3			3	3	9.6
제작의 용이성					3		3	3					11.1	
Total	101	132	34	29	29	153	161	75	221	144	32	123	118	1352
%	7.5	9.8	2.5	2.2	2.2	11.3	11.9	5.6	16.3	10.6	2.4	9.1	8.7	100

<그림 3> Matrix 2, HOQ of Midship Section

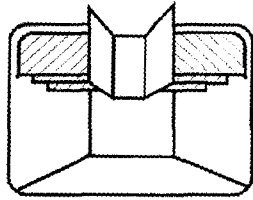
서의 늑판의 높이가 현저하게 줄어들기 때문에 전단력에 대한 저항력이 떨어질 뿐만 아니라 비틀림에 대해서도 심각한 문제를 일으킬 소지가 있다. 따라서 이 대안에 대한 고려도 여기서 중단한다.

특집 II 새로운 개념에 의한 설계지원기술



〈그림 4〉 Variation of Hopper Tank

〈그림 5〉 Variation of Inner Bottom



〈그림 6〉 Variation of Top Side Tank

③ Top Side Tank의 변경〈그림 6〉

먼저 이 부분과 관련된 기능들은 선적 공간의 확보, 굽힘 모멘트, 비틀림 모멘트, 횡강도 및 Racking, 피로 파괴, 그레이인 안정성, Ballast 조절, 청수 및 연료 저장, Ballast 항해시 횡동요 주기의 완화 등이다. 먼저 탑웍 탱크의 아래 부분을 없애 좀 더 큰 화물 공간을 확보하고, 해치 코우밍을 높이를 키워 그레이인 안전성 문제에 대비한다. 또한 길어진 해치코우밍의 피로파괴에 대한 저항력을 키우고 비틀림 강도와 횡강도를 키우기 위해 탑웍 탱크 안의 늑판을 넓힌다.

약해지는 기능으로서는 굽힘 모멘트, 그레이인 안정성, Ballast 조절, 청수 및 연료 저장, 횡동요 완화 기능 등을 들 수 있다. 이러한 기능들은 탑웍 탱크 단독으로 맡고 있는 기능이 아니기 때문에 다른 요소들이 어느 정도 탑웍 탱크의 역할을 대신할 수 있으리라 생각된다.

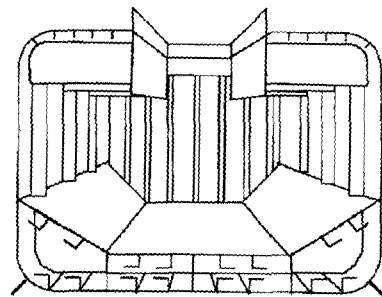
굽힘 모멘트에 대한 단면의 상부 강도를 키우기 위해 갑판이나 해치 코우밍의 두께를 키운다. 특히 해치 코우밍의 길이가 길어졌기 때문에 기존의 역할보다 더 큰 몫을 할 수 있으리라 생각된다. 그레이인 안정성은 큰 변화가 없으리라 생각된다.

Ballast 조절이나 청수 및 연료 저장 기능은 호 탱크나 이중저 공간을 키워 대신할 수 있다. 필에 따라 화물창을 이용할 수도 있을 것이다. 횡요 조절 기능은 비중 면에서 공간 확보에 비해 비중이 상당히 작다. 크게 문제가 되지 않는다만 적당히 희생될 수 있을 것이다.

비용 절감면에서는 탑웍 탱크의 아래 부분을 제거하는 대신 늑판을 크게 하고 해치 코우밍의 길이를 키웠기 때문에 기존의 형상과 거의 비슷하리라 생각된다. 이를 뒷받침할 수 있는 자세한 정량적인 평가는 다음 〈표 1〉과 같다. 섬세한 평가를 위해 1-9의 scale로 평가하였다. 변경된 형상은 〈그림 7〉과 같다.

〈표 1〉 Detail evaluation of new Top Side

	비중(%)	기존형상	변경된 형상
선적 공간의 확보	9.0	6	9
굽힘 모멘트	4.8	9	7
비틀림 모멘트	2.7	9	8
횡강도, Racking	2.7	9	9
피로파괴	4.6	9	8
그레이인 안정성	2.5	9	8
Ballast 조절	2.7	9	8
청수, 연료 저장	2.1	9	8
Rolling 주기 완화	1.1	9	7
재료비	12.7	9	9
공수	9.6	8	9
제작의 용이성	11.1	8	9
Total		542.7	564.0



〈그림 7〉 Configuration after adaptation

4. 결론

본 연구에서는 QFD의 특징을 분석하고 이를 형상 변경설계에 적용시킬 때 어떤 효과를 얻을 수 있는가에 대해 기술하였다. 또한 살물선의 중앙단면을 예로 들어 활용 가능성을 확인해 보았다. 또한 HOQ 구축시에는 AHP 기법을 적용시켜 고객의 요구들에 대한 비중을 체계적이고 정확하게 평가하고자 하였다.

결론적으로 QFD는 기존 제품에 대해 고객의 요구, 기능, 각 요소들 간의 관계를 분석하여 도출함으로써 설계 문제에 대한 전체적인 이해를 가능하게 한다. 이로써 설계자는 변경설계시 관련된 문제들을 체계적으로 파악, 동시 해결하는데 많은 도움을 얻을 수 있다. 또한 고객의 요구에서부터 출발하기 때문에 고객 중심의 설계를 가능케 한다.

참고 문헌

- [1] M. Larry Shillito, Advanced QFD, John Wiley & Sons, Inc., 1994.
- [2] Lawrence R. Guinta, Nancy C. Praizler, The QFD Book, AMACOM, 1993.
- [3] L.P. Sullivan, "Quality Function Deployment", Quality Progress, June, 1986.
- [4] Patrick G. Brown, "QFD : Echoing the Voice of the Customer", AT&T Technical Journal, March/April, 1991.
- [5] Archie Lockamy III, "Quality Function Deployment : A Case Study", Production and Inventory Management Journal- Second Quater, 1995.
- [6] Satty, T. L., The Analytical Hierarchy Process, McGraw-Hill, 1980.



양 영 순

- 1951년 1월 3일생
- 1979년 서울대 공학박사
- 1986년 이후 서울대 조선해양공학과 교수
- 관심 분야 : 선체구조 신뢰성 해석 및 인공지능분야



장 범 선

- 1971년 4월 24일생
- 1996년 서울대 공학 석사
- 1996년 이후 서울대 조선해양공학과 박사과정
- 관심 분야 : Robust Design 및 설계방법론