

선형 정보를 활용한 3차원 선형 생성 기능 개발

장왕석, 이원희, 김태완(서울대학교)

1. 서론

본 연구는 새로이 개발되는 3차원 설계지원 일관시스템의 선형생성 기능 개발을 목표로 한다. 3차원 설계지원 일관시스템에서 선형의 기능은 구조해석을 위한 3차원 선박 CAD 모델을 모델링할 때, 직육면체 형태로 모델링된 3차원 CAD 모델의 선박 형태의 경계 곡면으로 변형시켜주는 역할을 한다. 정확한 선형 곡면 생성 기능이 포함되어야 보다 정확한 3차원 CAD 모델링이 진행될 수 있으며, 이는 정확한 구조해석 결과 도출의 첫걸음이 된다.

그림 1은 3차원 설계지원 일관시스템의 전체 개요이다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 선형은 타 CAD 프로그램을 통하여 IGES 포맷의 곡면을 생성한 뒤 import하는 형식으로 구현되어 있다. 이를 추가적인 타 CAD 프로그램 개입 없이 본 CAD 프로그램 상에서 선형을 생성하도록 하는 것이 본 연구의 목적이다.

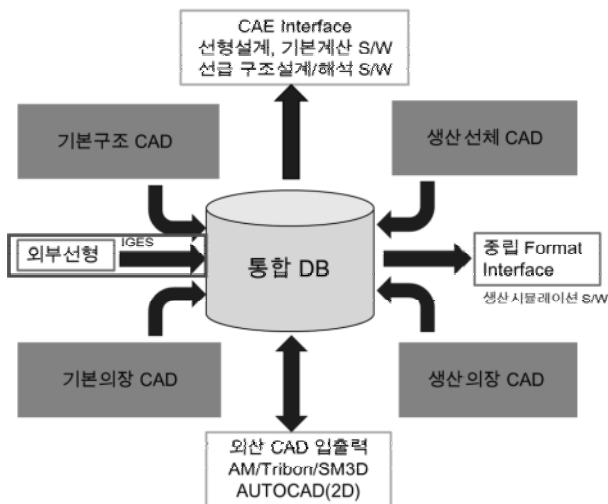


그림 1 3차원 설계지원 일관시스템 개요

선박의 선형 설계는 크게 곡선 그물망 (curve network)으로 형상을 정의하는 방법과 곡면을 직접 정의하는 방법으로 진행된다. 대부분의 선박 선형 설계는 곡선그물망을 이용하여 진행되었는데, 이는 3차원 자유곡면 형상을 직관적으로 설계할 수 있을 뿐만 아니라 설계자들에게 lines나 단면곡선 등의

쉽게 이용가능한 설계 결과물을 얻게 해주기 때문이다. 본 연구에서는 곡선 그물망 형태로 입력된 선형 정보를 바탕으로 선형 곡면을 생성하는 기능을 개발하였다. 또한, 다른 형태의 선형 설계 결과물인 오프셋표(offset table)를 입력값으로 할 경우 곡선 그물망 형태로 변환하여 본 연구에서 개발한 기능에 적용 가능하도록 하였다.

2. Offset table을 활용한 곡선 그물망 변환

2.1 곡선 그물망 변환 알고리즘 개요

선박에서의 offsets table이란 선박의 선도 (lines plan)의 구성요소인 횡단면선 (section line), 수선 (waterline), 수직 종단면선 (buttock line)을 바탕으로 선박의 최종 겹면인 선형의 곡면상의 점들을 x, y, z좌표를 나타낸 표이다. 표는 선박의 스테이션의 x좌표를 세로방향으로, 수선의 z좌표를 가로방향으로 표시하고, 각각 x, z 좌표에 대응되는 선형의 반쪽인 y 좌표를 표시한다. 따라서, offsets table을 이용하면 선체 곡면의 형상을 대략적으로 표현할 수 있다. 하지만, 선형 곡면 위의 점을 일정 간격으로 sampling한 결과이기 때문에 현측 접선 (side tangential line)과 같은 주요 경계곡선의 표현이 불가능하다는 단점이 있다.

본 연구에서는 선형 생성 기능의 입력값인 곡선 그물망 형태로 offset table을 변환하기 위하여 offset table을 이용하여 section line, waterline, centerline을 생성하여 기존 곡선 그물망과 같은 형식으로 변환하는 기능을 추가하였다. 곡선은 B-spline curve로 interpolation하여 생성하였다. 해당 기능은 그림 2와 같은 알고리즘을 통하여 수행된다.

2.2 Section line, waterline 생성

본 연구에서 section line과 waterline은 offset table에서 해당하는 x좌표와 z좌표를 가진 point들을 B-spline curve로 interpolation하여 생성한다. 해당 point들은 그림 3과 같은 방식으로 수집하여 B-spline curve를 생성한다.

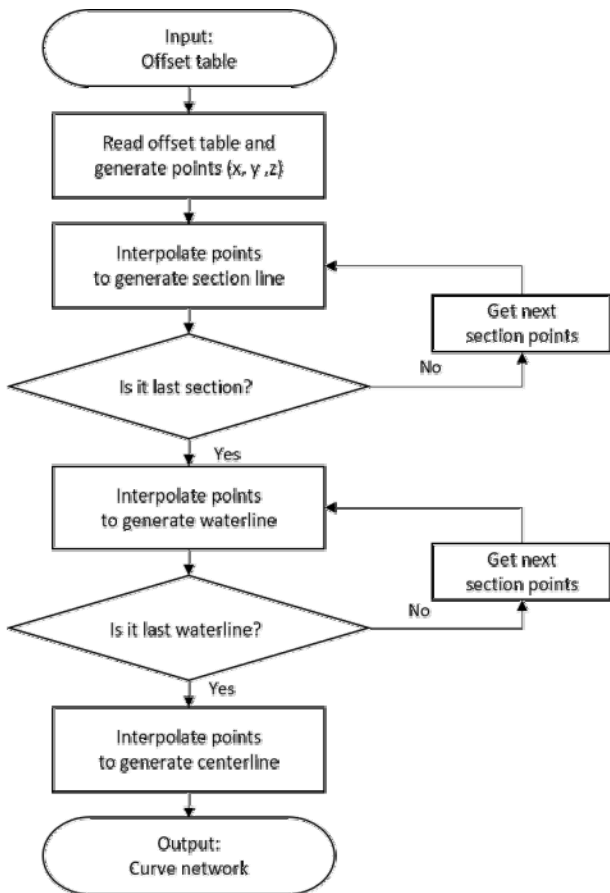


그림 2 곡선 그물망 변환 알고리즘 flow chart

특히 생성된 waterline중 'z=0'에 해당하는 곡선은 선저 접선 (bottom tangential line), 'z=D'에 해당하는 곡선은 상갑판 현측선 (upper deck side line)이 된다.

곡선 interpolation시 주의할 점으로는 'y=0'인 점을 제거하여 interpolation한다는 점이다. 또한 section line의 경우 선박의 형상의 특징 때문에 한 스테이션에서 2개 이상의 section line을 얻을 수 있다. 이때 각각의 section line을 구분하여 interpolation을 진행한다. 이를 고려하지 않을 경우, section line과 waterline의 interpolation 결과가 C^2 연속조건을 만족하도록 생성되어 선박의 원래 형상을 유지할 수 없다.

2.2 Centerline 생성

Centerline은 선박 중심면과 선체 곡면과의 교차 곡선으로 선미부터 선수까지 선박 전체에 걸쳐 표현된다. 본 연구에서는 centerline을 선미, 선수, 선박중앙부, 상갑판에 해당하는 4개의 곡선으로 나누어 정의한다.

그림 3 Offset table을 이용한 section line, waterline 생성

그림 4 Offset table을 이용한 centerline 생성

그림 4는 4개로 분리한 centerline들이 해당하는 offset table상의 point를 연결한 결과이다. 먼저 선미부의 centerline은 offset table 우측 상단에서 시작하여 (z=D, x=transom) 선형 곡면의 경계인 'y=0'인 점을 'z=bottom'까지 탐색한 points 들을 interpolation한다. 같은 방법으로 선수부의 centerline은 좌측 하단에서 시작하여 (z=bottom, x=max value) 선형 곡면의 경계를 'z=D'까지 탐색한 point들의 interpolation 결과이다. 이후 선박중앙부의 centerline은 선미 centerline의 끝점과 선수 centerline의 시작점을 직선으로 이은 line이며 상갑판에 해당하는 centerline은 'z=D'에서 'x=transom'과 'x=max value'를 이은 line으로 생성된다.

3. 선형 곡면 생성

3.1 선형 곡면 생성 알고리즘 개요

Offset table을 활용하여 생성한 곡선 그물망을 B-spline curve, 본 장에서는 곡선 그물망으로 정의된 선형 설계 결과

물을 활용하여 선형 곡면을 생성하는 기능을 설명한다. 해당 기능의 입력값은 B-spline curve로 정의된 곡선으로 lines나 2장에서 생성한 곡선 그물망을 활용한다. 선형 곡면 생성 알고리즘은 그림 5와 같으며, 다음의 과정을 통해 선형 곡면을 생성한다.

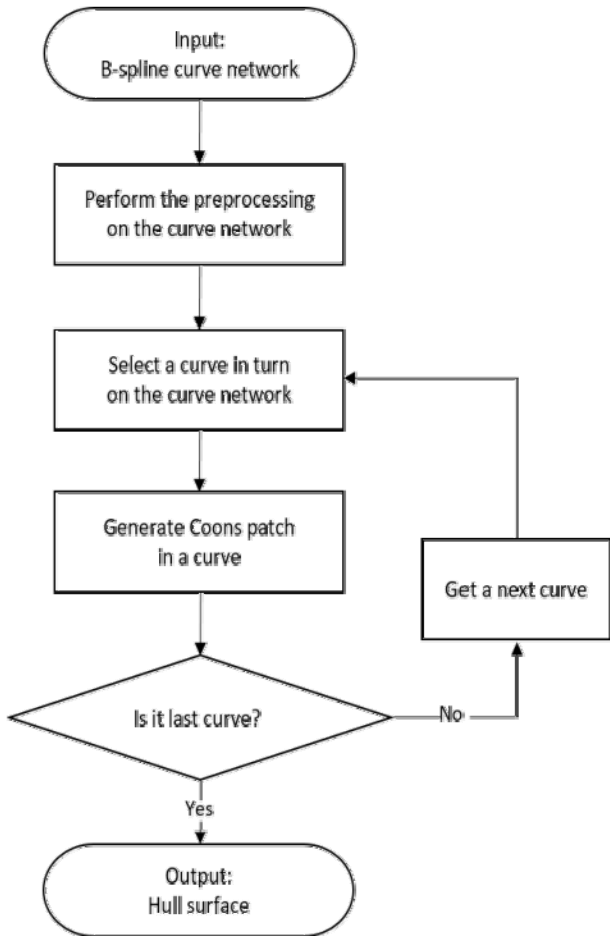


그림 5 선형 곡면 생성 기능 flow chart

먼저 B-spline 곡선 그물망인 lines를 입력한다. 다음 과정으로, 곡선 그물망에 대해 전처리 과정을 수행한다. 곡선 그물망 중 waterline은 x가 증가하는 방향으로, section line은 z가 증가하는 방향으로 곡선을 재정의한다. 이후 section line을 시작점의 x 크기순으로 정렬한다.

정렬된 section line을 순서대로 그림 6에 제시된 알고리즘에 도입한다. 해당 알고리즘은 입력된 곡선의 knot를 기준으로 다른 B-spline curve에서 knot를 찾고 그에 해당하는 section line과 waterline을 찾아 Coons patch를 생성하는 알고리즘이다.

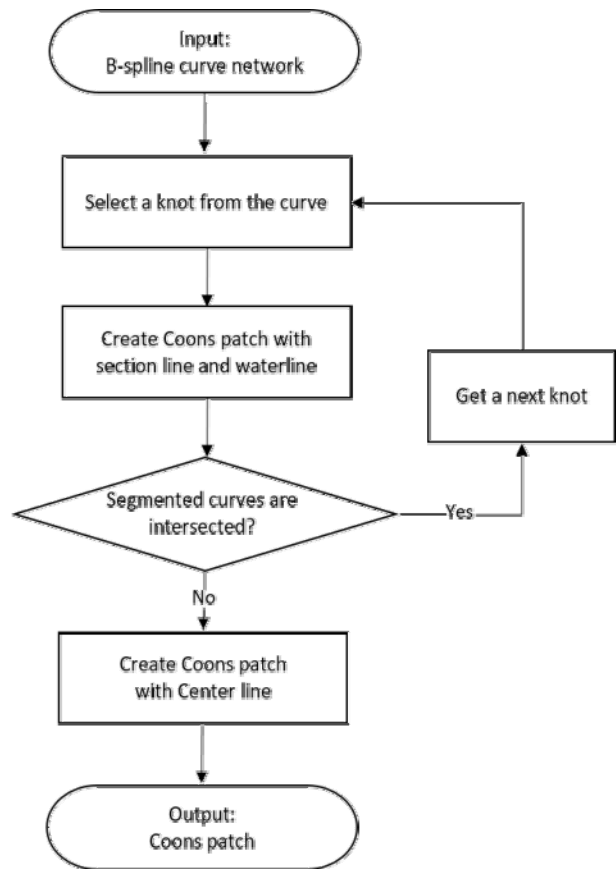


그림 6 Coons patch 생성 flow chart

3.2 Section line, waterline을 이용한 Coons patch 생성

곡선 그물망에서 하나의 B-spline 곡선을 선택하고 각각의 knot에 해당하는 점 사이의 곡선들을 나누어 Coons patch를 생성한다. 다음의 과정에 따라 곡선 그물망 사이에 Coons patch를 생성하여 선형 곡면을 구성한다.

그림 7은 곡선 그물망을 이용한 Coons patch 생성과정 예시이다. 먼저, 시작 knot와 시작 knot를 지나는 section line 정보를 저장한 후 시작한다. 주어진 section line에서 시작점의 다음 knot인 1번 knot를 찾고 저장한다. 다음으로, 시작 knot를 지나는 waterline을 탐색한다. 탐색한 후, waterline에서 시작 knot의 다음 knot인 2번 knot를 탐색한다. 2번 knot와 waterline의 정보를 저장한다.

이후 3번 knot를 탐색하기 위해서는 1번 knot를 지나는 waterline과 2번 knot를 지나는 section line을 찾은 후, 이 둘의 교점에 해당하는 knot를 탐색한다. 3번 knot를 탐색하는 과정에서 얻은 2개의 line 정보와 knot 정보를 따로 저장한다.

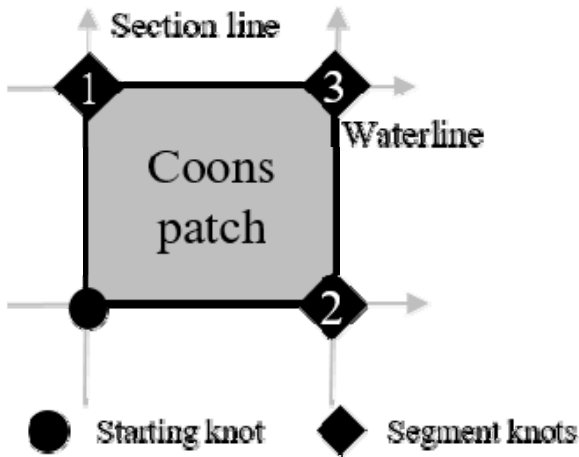


그림 7 Coons patch 생성 예시

위와 같은 과정을 통하여, 총 4개의 곡선 정보와 각 곡선의 segment할 knot 데이터를 가지고 있으며, 이를 사용하여 b-spline 곡선인 waterline, section line을 분할한다. Segment된 4개의 곡선을 사용하여 coons patch를 생성하며, 모든 section line에 대해 위 과정을 반복 수행하면 waterline 과 section line간의 교점이 속하는 영역에 해당하는 Coons patch를 생성하게 된다.

3.3 Centerline을 이용한 Coons patch 생성

곡선그물망에서 waterline과 section line에서의 Coons patch 외에도 centerline과 두 곡선들에서의 Coons patch 생성이 필요하다. centerline은 선수, 선미, 중앙부 곡선을 의미 하며, 3.2절과 달리 생성해야 하는 Coons patch는 삼각 Coons patch이다. 삼각 Coons patch를 생성할 때에는, 사각 Coons patch와 다른 방법으로 탐색해야 한다.

표 1과 같이 centerline의 형상과 위치에 따라 교점탐색 곡선의 시작 knot와 마지막 knot가 존재하는 곡선의 종류가 달라진다. 예를 들어 case 2에서 시작 knot는 waterline에 있고 마지막 knot는 section line 위에 있어 삼각형을 이루게 된다.

Case 2의 경우 그림 8의 과정에 따라 삼각 Coons patch를 생성할 수 있다. 시작 knot로부터 1번 knot를 탐색하고 이를 저장한다. 표 1에 따라 시작 knot에서 탐색해야 할 곡선은 waterline이므로, 시작 knot에서 waterline을 탐색하고 저장한다. 1번 knot에서 탐색해야 할 곡선은 section line이며, 이에 대한 정보를 탐색하여 저장한다. 저장한 waterline과 section line의 교점을 탐색하여 2번 knot를 탐색하고 저장한다.

표 1 Centerline을 이용한 Coons patch 생성 경우

Case	Centerline 형상	위치	교점탐색 곡선	
			Starting knot	Center line end knot
1	/	FP	Waterline	Section line
2		AP	Waterline	Section line
3	\	FP	Section line	Waterline
4		AP	Section line	Waterline
5		FP, AP	3.2와 같은 방식으로 진행	

총 3개의 line 정보와 각각의 knot 데이터를 가지고 있으며, 이를 사용하여 B-spline 곡선을 분할한다. 분할된 3개의 곡선을 사용하여 삼각 Coons patch를 생성하며, 선수, 선미, 중앙부 곡선에 대해 반복수행하여 3.2절의 결과와 병합하면, 최종 결과인 선형 곡면을 도출하게 된다.

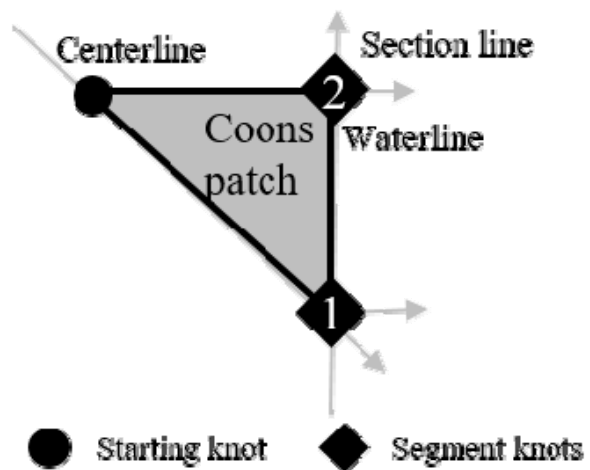


그림 8 Centerline을 활용한 Coons patch 생성 예시

4. 선형 생성 가능 결과

4.1 Offset table을 이용한 lines 생성 결과

TABLE OF CONTENTS																				
HALF BREADTH FROM CENTER LINE																				
Section NO.	BOTTOM LINE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14.5	16	18	20	22	24.2
Trans.(-0.38)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14450	18262	19780	20000	20000
-0.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10525	15955	18890	19944	20000	-
AP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2624	12572	16765	19204	19994	20000	-
0.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8474	14763	17871	19596	20000	-	-	-
0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3283	11746	16178	18456	19824	20000	-	-
0.75	-	-	487	933	530	-	-	-	-	-	1846	8680	13817	17230	18948	19956	20000	-	-	-
1	-	93	1802	1870	1462	863	397	183	280	895	2275	5061	12168	15561	18071	19440	20000	-	-	-
1.5	49	1879	2372	2520	2446	2215	2059	2283	2919	4288	9026	13623	16033	17687	19196	19906	20000	-	-	-
2	534	2677	3363	3734	3932	4029	4250	5085	7289	10680	13943	16341	17896	18937	19811	20000	-	-	-	-
3	2025	5058	6284	7228	8182	9483	11583	14000	16000	17469	18537	19244	19735	19990	20000	-	-	-	-	-
4	3974	8451	10473	12071	13627	15218	16635	17938	18937	19594	19941	20000	20000	20000	-	-	-	-	-	-
5	6091	12054	14349	16032	17344	18359	19152	19729	19996	20000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	8152	14697	16708	18069	19011	19627	19952	20000	20000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	10187	16515	18101	19113	19728	19985	20000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	12286	17500	18738	19502	19915	20000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	13900	17862	18720	19408	19815	20000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	13517	17469	18718	19466	19926	20000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	12406	16799	18306	19265	19873	20000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	11001	15632	17338	18464	19316	19897	20000	20000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	9018	14029	15875	17152	18138	18941	19528	19922	20000	20000	20000	20000	-	-	-	-	-	-	-	-
14	6196	11304	13404	14934	16146	17141	17974	18650	19199	19622	19886	19994	20000	20000	20000	-	-	-	-	-
15	2993	7980	10216	11870	13217	14356	15353	16246	17038	17740	18354	18882	19312	19633	19929	20000	20000	-	-	-
16	583	5356	7103	8420	9598	10677	11684	12651	13581	14471	15328	16159	16935	17624	18322	18922	19322	19877	20000	20000
17	124	2602	4905	5656	6434	7181	7919	8674	9438	10248	11052	11859	12734	13663	15032	16321	17837	19014	19797	20000
18	100	2577	3442	3967	4341	4643	4932	5224	5554	5931	6346	6845	7479	8235	9516	10921	13033	15277	17449	19250
18.5	110	2286	2979	3414	3673	3815	3893	3951	4012	4115	4320	4603	4959	5458	6511	7872	10049	12543	15037	17488
19	112	1982	2596	2988	3195	3258	3215	3104	2854	2404	2723	2710	2780	3087	3333	4987	7026	9433	11867	14527
19.5	-	1538	2160	2550	2778	2891	2894	2784	2569	2331	1760	1385	1247	1279	1685	2532	4262	6237	8428	10884
FP	-	-	1195	1825	2310	2652	2859	2901	2768	2497	2060	1301	-	29	148	603	1551	2981	4700	6815
20.23	-	-	-	1353	2045	2481	2753	2893	2880	2686	2125	697	-	-	-	-	-	1590	3135	5042
20.45	-	-	-	-	1300	1910	2258	2420	2400	2110	1320	-	-	-	-	-	-	-	-	2343
20.68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

그림 9 6,300TEU 컨테이너선 offset table

2장에서 설명한 내용을 바탕으로 구현한 offset table 데이터를 활용한 lines 생성 결과는 다음과 같다. 그림 9는 lines 생성에 활용한 6,300TEU 컨테이너선의 offset table 데이터 예시이고, 그림 10은 lines 생성 결과이다.

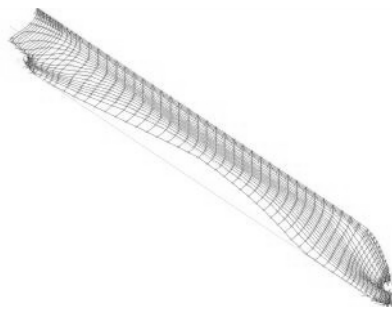


그림 10 곡선 그물망 생성 결과

4.2 선형 곡면 생성 결과

3장에서 설명한 내용을 바탕으로 구현한 선형 생성 기능에 4.1에서 얻은 곡선 그물망을 입력하여 얻은 결과는 다음 그림 11과 같다. 그림 11은 선형 생성 결과와 생성된 선형의 반쪽도, 측면도, 정면도이다.

5. 결론

본 연구에서는 3차원 설계지원 일관시스템의 선형 생성 기능을 개발하였다. 해당 선형 생성 기능은 lines와 같은 곡선 그물망을 입력값으로 하며, offset table을 입력할 경우 이를 활용하여 곡선 그물망을 생성하는 기능을 추가하였다. Offset table을 활용하여 선형을 생성하였을 때에도 곡선 그물망이 C^2 연속조건을 만족하며, 필요한 부분에 대해서만 C^0 연속 조건을 만족함을 확인할 수 있다. 이러한 곡선 그물망을 이용하여 생성된 선형 곡면은 구조용 3차원 선박 모델을 생성하기에 적합한 품질의 곡면을 얻을 수 있다.

현재 구현된 기능의 보완점으로는 knot 기반의 곡선 그물망 교점 탐색의 한계로, 실제 곡선 그물망의 교점에 knot가 정의되지 않을 경우 교점 탐색에 실패하여 Coons patch를 생성할 수 없다는 문제점이 있다. 이러한 문제점은 T-junction이 존재하는 patch에서 patch생성이 불가하다는 단점을 가지고 있다. 추후 연구에서는 T-junction과 같은 특이점에서 Coons patch 생성 알고리즘을 보완하고, 나아가 patch간 C^1 연속조건을 만족하도록 기능개선을 할 예정이다.

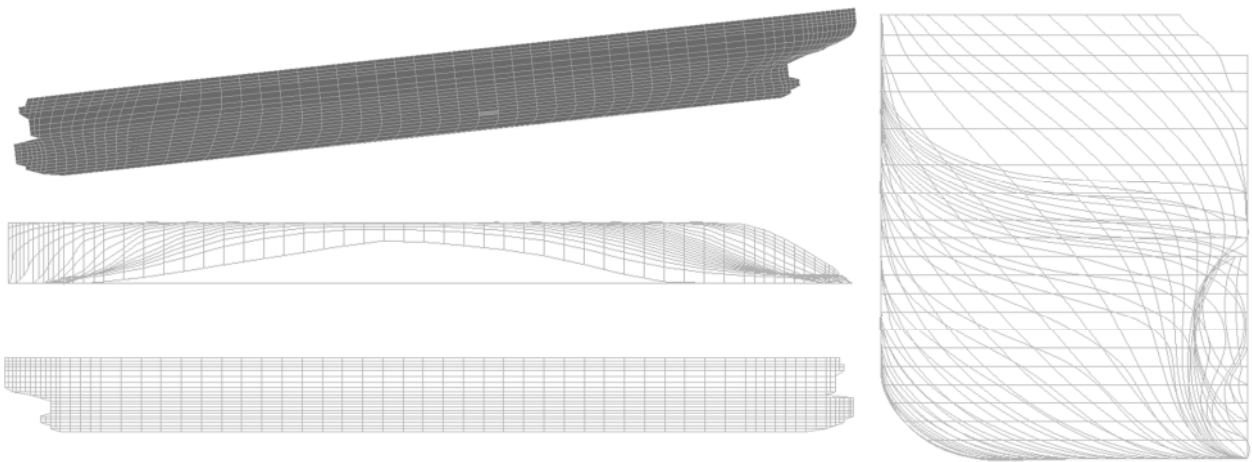


그림 11 선형 곡면 생성 가능 결과, 반쪽도, 측면도, 정면도

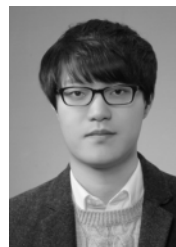
참고 문헌

대한조선학회 [선박계산, 텍스트북스] (2012)
 조두연, 이규열, 김태완 [Construction of G1 Bezier Surfaces
 from Irregular Curve Network of a Ship Hullform] (2005)



장왕석

- 1992년생
- 2013년 서울대학교 조선해양공학과 학사
- 현 재 : 서울대학교 조선해양공학과 박사과정
- 관심분야 : 조선CAD
- 연 락 처 : 02-880-1437
- E - mail : cws432@snu.ac.kr



이원희

- 1993년생
- 2015년 서울대학교 조선해양공학과 학사
- 현 재 : 서울대학교 조선해양공학과 박사과정
- 관심분야 : CAD, Weather routing
- 연 락 처 : 02-880-1437
- E - mail : weelon@snu.ac.kr



김태완

- 1962년생
- 1996년 Arizona State Univ. 컴퓨터공학과 박사
- 현 재 : 서울대학교 조선해양공학과 교수
- 관심분야 : CAD, Deep learning
- 연 락 처 : 02-880-1434
- E - mail : taewan@snu.ac.kr

대한조선학회지 칼럼 필진 모집

대한조선학회지 칼럼 투고를 환영합니다.

다양한 주제의 원고 투고 부탁드립니다.

원고 접수 : editor@snak.or.kr