자유형상 구조물의 형상 설계
Form Design of Free Form Structure

김 수 영*
Kim, Soo Young
박 재 섭**
Park, Jae Seob

요 약

3차원 자유형상 구조물인 선박, 비행체, 자동차 등의 최적형상 결정에 관한 구조해석을 위해서는 원하는 설계조건을 만족시키는 범위내에서 자유형상 구조물의 다양한 형상의 정의와 비교가 필요하다.

본 연구에서는 형상계수를 이용한 3차원 자유형상 구조물의 정의와 체계적인 변화 및 구조해석을 위한 기하학적 형상정보의 도출을 시도하고, 이의 검증을 위해 선정한 자유형상 모델을 통해 이 방법의 유용성을 조사했다.

Abstract

For the structural analysis of optimum form decision of 3-D free form structure such as ship, plane, automobile, definition of versatile forms and comparision between them satisfying the design criterion, is essential.

In this paper, 3-D free form structure and it's variation are defined and attempts were made to obtain geometric form information for structural analysis.

The validity of the method has been tested for a particular free model selected.

1. 서 론

3차원 자유형상 구조물의 형상을 전산기를 이용하여 설계하기 위해서는, 구조물의 형상을 수학적으로 표현하는 것이 필요하다. 형상의 특성을 나타내는 기하학적 크기를 형상계수라 할 때, 이들 형상계수의 조합에 의한 구조물의 형상설계 및 정의는 형상의 기하학적 특성파악이 쉽고, 형상계수들의 값을 바꾸어 주는 것만으로 체계적 형상변환이 가능한 장점을 갖는다.[1-4] 그러나 이러한 형상계수 방법은 3차원 형상의 표현을 2차원의 곡선으로 나타낼 수 밖에 없는 제약을 받고 있다.

본 연구에서는 2차원 곡선의 부분적 생성에 이용할 수 있는 형상계수 방법을 3차원 자유형상 설

* 정회원, 부산대학교 조선공학과 조교수
** 부산대학교 조선공학과 석사과정

이 논문에 대한 토론을 1992년 9월 30일까지 본 학회에 보내주시면 1993년 3월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

계에 확장하기 위하여 적절한 특성곡선을 생각해 주고 이들 특정곡선으로부터 설계자가 원하는 자유형상의 도출을 시도했다.

2. 자유형상 구조물의 형상설계

3차원 자유형상 구조물의 설계에서 정확한 형상정의는 구조물에 대한 제반계산(예를 들면, 구조강도 해석이나 공기나 물 등의 유동에 의한 외압추정 등)의 수행 및 경우에 따라 필요하게 되는 최적형상 결정을 위한 형상 변형작업을 위해 반드시 필요하다. 특히 구조물의 자유 형상을 정확하게 정의하기 위해서는 구조물의 기하학적 특성을 나타내는 형상계수들이 잘 반영된 수학적 표현이 필요하다. 설계자가 원하는 3차원 형상 도출을 위해 적절한 형상계수를 정의한 후, 이들 형상계수로부터 설계코자하는 형상이 갖는 중요한 기하학적 특성(예를 들면 부피, 면적, 무게 중심 등)들이 포함된 특성곡선을 정의하여 이들 특성곡선의 조합으로 자유형상 구조물을 표현한다.

2.1 구조물의 형상 정의

형상계수(form parameter)를 구조물 형상의 특성을 나타내는 기하학적 크기로 정의할 때 형상계수 방법(form parameter method)이란 일련의 형상계수들의 조합으로 자유형상을 표현하는 것이라 할 수 있다.

구조물 설계-특히 자유형상 구조물 설계-에 사용되는 형상계수들은 Fig.1에서와 같이 점 parameter, 미분형 parameter, 그리고 적분형 parameter들로 나눌 수 있다.

점 parameter;

$y_0 = y(0)$: 형상곡선 시점의 위치

$y_1 = (1)$: 형상곡선 종점의 위치

$y_m = y(0.5)$: 형상곡선 중간점의 위치

미분형 parameter;

$y'_0 = y'(0)$: 형상곡선 시점의 기울기

$y'_1 = y'(1)$: 형상곡선 종점의 기울기

$y''_0 = y''(0)$: 형상곡선 시점의 곡률

$y''_1 = y''(1)$: 형상곡선 종점의 곡률

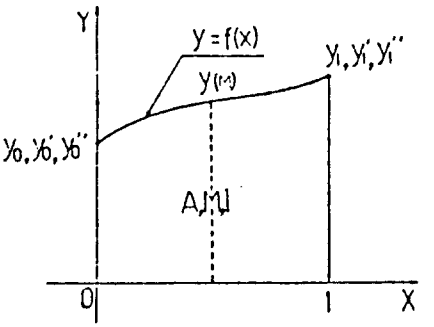


Fig 1. Set of Form parameters

적분형 parameter;

$A = \int y(x)\,dx$: 형상곡선 아래의 면적

$M = \int y(x)\,x\,dx$: 형상곡선 아래의 모우멘트

$I = \int y(x)\,x^2\,dx$: 형상곡선 아래의 1차 모우멘트

구조물의 형상이 수학적으로 쉽게 표현할 수 없는 복잡한 자유형상일 경우, 필요에 따라서는 이들 외에 다른 형상계수들을 첨가하여 사용할 수가 있다. 달리말하면 복잡한 구조물의 형상 표현을 위해서는 많은 형상계수들이 요구된다.

그러나 구조물 형상 표현의 결과를 설계자가 즉각적이고도 쉽게 해석할 수 있기 위해서는 상대적으로 적은 수의 형상계수를 사용하는 것이 편리하다. 뿐만 아니라 많은 형상계수의 사용은 형상계수의 조합으로 표현되는 곡선 다항식의 차수를 증가시키고 이로인해 곡선의 진동(oscilation)을 발생시키는 경향이 있기 때문에 설계자는 다양한 형상계수들 중에서 최소의 형상계수들의 조합으로 우리가 원하는 구조형상을 표현할 필요가 있다.

형상계수 방법으로 구조물 형상을 표현하는 데는 형상계수들의 결합으로 이루어진 다항식 표현이 가장 간편하다. 이때 형상계수들의 결합을 위해서는 영향함수(influence function)[1-4]로 정의되는 다항식들의 중첩을 생각할 수 있다.

우리가 설계 또는 정의하고자 하는 자유형상의 곡선식을 y(x)라 할 때

$$y(x) = \sum_{i=1}^{J} C_i\, Y_i(x) \qquad (1.1)$$

여기서 C_i :i 번째의 형상계수의 값

$Y_i(x)$:i번째 영향함수

J :형상계수의 갯수

영향함수 $Y_i(x)$는

$$Y_i(x)=\sum_{n=0}^{J-1} A_{in}\ X^n \tag{1.2}$$

로 정의한다.

이때 i번째 형상계수에 대해서는 i번째 영향함수만이 1로 정의되고 그 이외의 영향함수는 0으로 된다.

이것을 정리하면

$$y(x)=\sum_{n=0}^{J-1} B_n\ X^n \tag{1.3}$$

$$B_n=\sum_{i=1}^{J} C_{in}\ A_{in}=0,\ 1\cdots,\ J-1$$

여기서 영향함수 $Y_i(x)$의 계수 A_{ij}는 형상계수들로 부터 결정할 수 있고, 곡선식 $y(x)$는 형상계수값 C_i에 의해 곱해진 영향함수 $Y_i(x)$의 중첩으로 얻어진다.

직교좌표계에서 형상계수 방법에 의한 자유형상의 설계는 3차원 자유형상의 절단면 면적으로 나타내어지는 절단면 면적곡선과 종합적 외형을 규제하는 3방향의 outline 및 설계자의 경험에 의한 centroid 분포곡선으로 이루어진 특정곡선을 만들어 주는 것으로 시작된다.

이때 절단면 면적곡선은 Fig.1에서 볼 수 있는 형상계수들에 의해 (1.3)식의 이용으로 정의되며 outline곡선들은 설계자의 상상력에 의존된다.

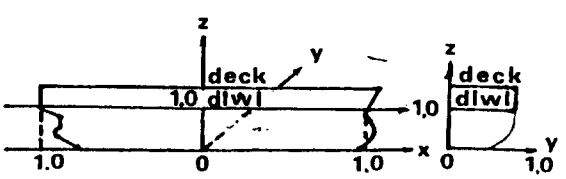


Fig 2. Coordinate System for Ship

일단 특성곡선이 결정되면 이들 특성곡선으로부터 설계코자하는 형상에 대한 경계조건과 형상계수 값을 얻어서 이것들로부터 형상계수 방법을 다시 이용함으로써 희망하는 자유형상을 얻어내게 된다.

이때 절단면 면적곡선으로부터는 적분 parameter를 결정하고, outline곡선들로부터는 점 parameter를 얻게된다.

Fig.3은 전형적인 자유형상 구조물의 하나인 선박에 대해 형상계수 방법으로 형상설계를 행하는 과정을 보여주고 있다.

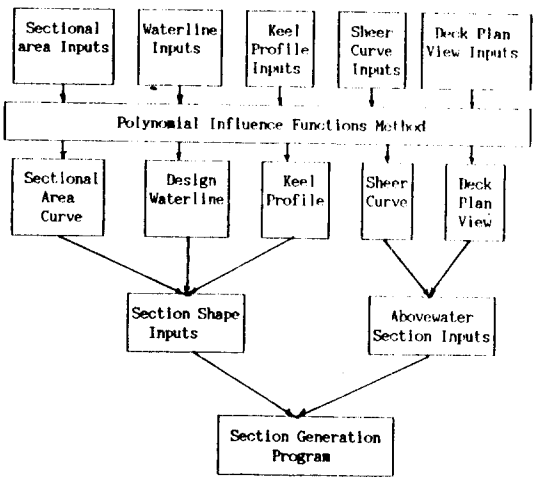


Fig 3. Procedure for Ship Form Design

2.2 자유형상 구조물의 형상 변형

3차원 자유형상 구조물의 변형을 위해서는 크게 다음의 3가지 방법을 생각할 수 있다.

① 형상계수 값의 변경에 의한 방법

② Distortion변환 방법[6, 8]

③ Control Vertex들을 이동시켜 변형시키는 방법[7, 8]

①의 방법은 형상계수 방법에서 형상계수의 값에 따라 형상이 변화되는 특성을 이용한 것이며, ②의 방법은 구조물 형상을 찌그러뜨리는 변형법으로써 미소변형이 필요할 때 제한적으로 이용할 수 있는 방법이고, ③의 방법은 설계된 구조물 형상을 B-spline surface 방법 등으로 정의한 후 정의된 B-spline surface 등의 control vertex 이동에 의한 변형 방법이다. 3가지 방법 중 특정방법의 선택 혹은 두가지 방법이상 병용은 그때그때의 경우에 따라 설계자의 판단에 의해 결정할 수가 있다.

3. 형상설계 및 변형 예

형상계수 방법을 이용하여,

길이:2m

폭:0.283m

홀수깊이:0.118m

배수용적:0.45m^3

인 조건을 충족시키는 선박에 대한 형상 설계와 도출된 형상의 변형 및 이로부터 얻은 형상 정보의 정리는 다음과 같다.

먼저, 특성곡선 결정을 위해 다음과 같은 형상계수들을 선택했다.

(x_0, y_0):시점의 위치

(x_1, y_1):종점의 위치

y'_0 :시점의 기울기

y'_1 :종점의 기울기

A :절단면의 면적

M :절단면의 모우멘트

선박은 유체 동역학적 필요에 의해 그 형상이 Fig2.에서와 같이 X-Z평면에 대칭인 특징을 갖는다. 설계코자하는 배의 배수용적(체적)조건을 감안하면서 X축을 따라서 X-Z평면에 나란히 절단한 절단면 면적곡선(X-sectional Area curve; XSAC)을 만들어 XSAC 곡선이라 하자. 이 곡선은 특성곡선 결정을 위해 선택한 6개의 형상계수들로 결정된다. XSAC결정을 위해서는 결정코자 하는 특성곡선을 2부분으로 나눈다.

배의 길이 방향 중심을 기준으로 선수부와 선미부에 대한 XSAC를 만든 후 이들을 합성해 준다. Table 1.과 Table 2.에서는 XSAC의 선수부와 선미부 형상을 결정하기 위한 형상계수 값과 영향함수를 나타내고 있다. Fig.4와 Fig.5는 각 영향함수의 곡선과 그것의 중첩으로부터 얻어지는 XSAC 곡선을 보여주고 있다.

Table 1. From Parameter & It's Influence Function

Form Parameter Value						Influence Function
y_0	y_0'	y_1	y_1'	A	M	Fig.4
1.0	0	0	0	0	0	○
0	0.02	0	0	0	0	☆
0	0	0	−0.002	0	0	†
0	0	0	0	0.694	0	□
0	0	0	0	0	0.254	△

Table 2. Form Parameter & It's Influence Function

Form Parameter Value						Influence Function
y_0	y_0'	y_1	y_1'	A	M	Fig.5
1.0	0	0	0	0	0	○
0	0	0	−0.002	0	0	☆
0	0	0	0	0.672	0	□
0	0	0	0	0	0.243	△

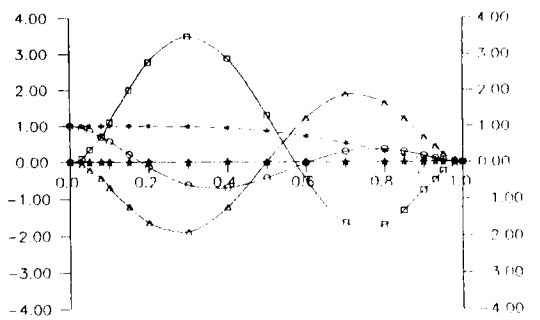


Fig. 4 Influence function for offset and Stem Form of XSAC(*) by Superposition of Influence function

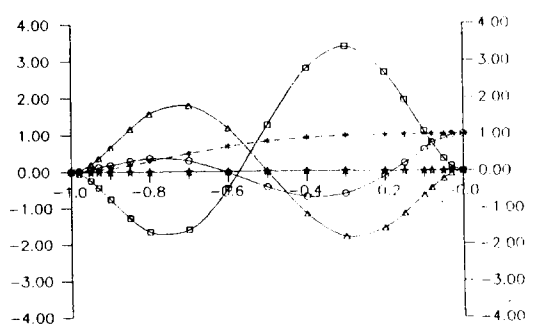


Fig. 5 Influence function for offset and Stern Form of XSAC(*) by Superposition of Influence function

특성곡선의 첫번째인 XSAC는 Fig 4.과 Fig 5.에서 보이는 선수부와 선미부의 합성으로 얻어지며 그 모양은 Fig 6.1로 얻어진다. Fig 6.2에서 보는 plane outline곡선도 이와 동일한 과정으로 결정된다.

XSAC와 plane outline 곡선 이외의, 설계자의 경험에 의존하는 특성곡선은 Fig 6.3과 Fig 6.4에서 보는 바와 같다.

Fig 6.1에서 Fig 6.4까지의 특성곡선으로부터 얻어내는 새로운 형상계수 값들에 의해 Fig 6.5에

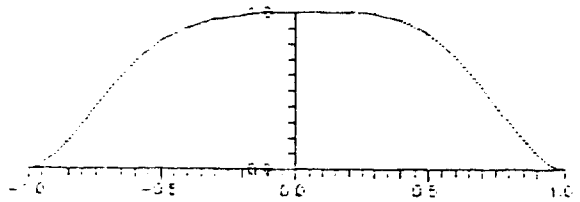


Fig 6.1 Sectional Area Curve along X-Coordinate

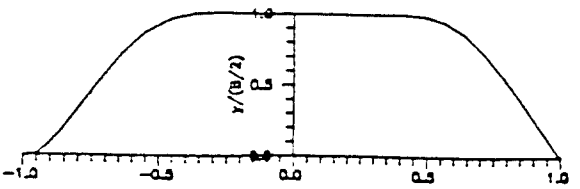


Fig 6.2 Plane Outline Curve

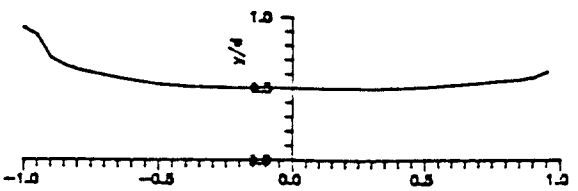


Fig 6.3 Centroid Distribution

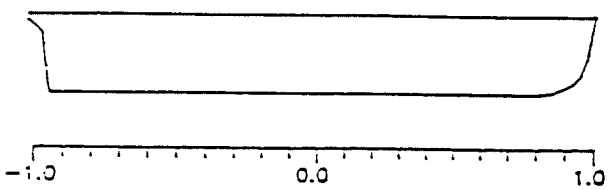


Fig 6.4 Side Profile

서 보게되는 배의 3차원 형상 표현도가 얻어진다.

비행체나 자동차와 같이 선박 형상에 비해 비교적 단순한 구조물인 경우에도 동일한 결과를 보다 쉽게 얻을 수 있을 것이다.

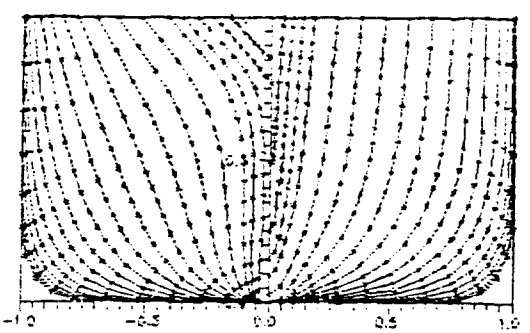
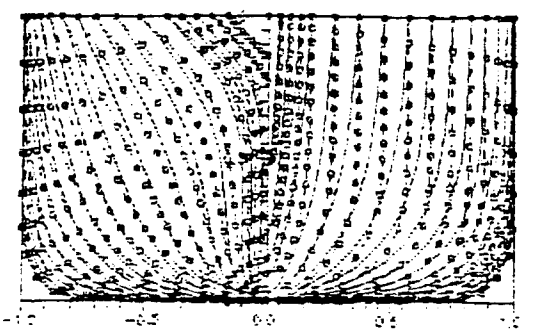


Fig 6.5 Body Plan of Ship

도출(설계)된 형상을 필요시 변형시키기 위해서는 2.2에서 언급된 3가지 방법 중 1가지를 사용할 수 있으나, 여기서는 형상계수 값의 변화에 따른 변형외에, 전체 체적은 고정되고 중심위치가 이동될 경우의 distortion에 의한 변형을 시도했다.

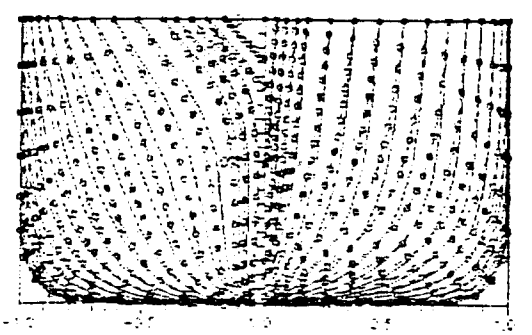
Fig 7.과 Fig 8.은 선박의 X축 방향의 중앙점에서 선수부쪽을 "+"방향, 선미부쪽을 "−"방향으로 하고, 선박의 X축 방향 길이를 1로 정규화 했을 때, 체적 중심이 선박의 길이에 대해서 각각 ± 0.02씩 X축 방향으로 이동됨으로써 변형된 선형을 나타낸다.

Distortion 변형에 관한 보다 상세한 내용은 참고문헌(6, 8)에서 찾아볼 수가 있다. 구조물의 구조계산이나 외압계산등에 필요한 형상정보는 설계결과로 얻어진 도출형상(선형)및 변형형상(선형)에서 얻은 곡선을 적절한 평면으로 잘라 교차점을 digital화하여 바로 얻을 수 있다.



——— : Original Ship
- - - : Varied (+0.02)

Fig 7. Body Plan of Original & Varied Ship



——— : Original Ship
- - - : Varied Ship(−0.02)

Fig 8. Body Plan of Original & Varied Ship

Table 3.은 형상계수 방법에서 최대길이를 1로 정규화하여 얻은 선박형상을 Y-Z 평면과 교차시켜 얻은 형상정보를 나타내고 있다.

Table 4.는 Table 3.에 표현된 형상에서 체적을 고정시키고, 체적 중심을 길이 방향으로 ±0.02씩 이동시켰을 때의 변형된 형상정보를 보여주고 있다.

Table 3. Form Information of Original Ship

X	Y	Z
0.6	0.00000	0.00000
0.6	0.04821	0.00509
0.6	0.10496	0.02652
0.6	0.17315	0.05844
0.6	0.25891	0.10951
0.6	0.34326	0.18022
0.6	0.40869	0.25958
0.6	0.44716	0.32563
0.6	0.47610	0.39093
0.6	0.49785	0.45563
0.6	0.51337	0.51626
0.6	0.52396	0.56911
0.6	0.53377	0.63093
0.6	0.54189	0.69368
0.6	0.54895	0.76135
0.6	0.55573	0.83342
0.6	0.56279	0.90921
0.6	0.57210	1.00000

Table 4. From Information of Varied Ship

X	Y	Z(−0.02)	Z(+0.02)
0.6	0.00000	0.00000	0.00000
0.6	0.04821	0.022658	0.00260
0.6	0.10496	0.06681	0.00735
0.6	0.17315	0.11607	0.02193
0.6	0.25891	0.18683	0.04609
0.6	0.34326	0.27492	0.07921
0.6	0.40869	0.36766	0.11085
0.6	0.44716	0.43960	0.14498
0.6	0.47610	0.51010	0.17065
0.6	0.49785	0.58154	0.20002
0.6	0.51337	0.64695	0.22807
0.6	0.52396	0.69979	0.24720
0.6	0.53377	0.75854	0.27014
0.6	0.54189	0.81170	0.29912
0.6	0.54895	0.85851	0.32431
0.6	0.55573	0.90290	0.36603
0.6	0.56297	0.94669	0.42586
0.6	0.57210	1.00000	1.00000

4. 결과 분석

본 연구에서 정리한 형상계수 방법을 이용하여 실제 3차원 자유형상 구조물인 선박의 형상도출 및 이의 변형을 수행한 결과 Fig 6.5와 Fig 7. 및 Fig 8.에서와 같이 만족할 만한 내용을 보여주고 있다.

구조물 중에서도 비교적 복잡한 선박의 형상에 대한 이와같은 결과는 선박에 비해 단순한(특히 앞뒤부분에서)형태를 갖는 비행체나 자동차 등에 대한 응용 및 건축물의 일부에서 간혹 보게되는 자유형상에 대한 적용시 보다 간편하면서도 효율적인 효과를 얻을 것으로 예상된다.

이 방법의 단점은 본 연구에서 사용된 형상계수의 갯수 보다 더 많은 형상계수 사용시(예를 들면 10개 이상의 형상계수)예상되는 곡선다항식의 계수 결정을 위한 계산상의 복잡성 및 곡선 진동에 따른 제약이라고 할 수 있다. 달리 말하면 설계자의 경험 축적이 적절한 선택을 가능케 하는 점이 이 방법이 갖는 여러 장점에 수반되는 단점이라고 생각된다.

5. 결 론

지금까지의 과정을 정리하여 다음의 결론을 얻었다.

1. 형상계수 방법에 의해 3차원 자유형상 구조물의 형상정의가 가능하다.

2. 형상계수 방법은 정의된 자유형상을 설계자의 희망에 따라 체계적으로 변환시킬 수 있다.

3. 정의되고 변환된 자유형상으로부터 구조해석을 위한 형장정보 도출이 쉽게 수행되었다.

참 고 문 헌

1) H.Thieme, "About the Fundamentals for Mathematical Lines Plan for a Cargo Ship"(in German), Schiffstechnik, 1955/56.

2) C.Kuo, "Computer Methods for Ship Surface Design", Longman Group Ltd., London 1971.

3) G. Kuiper, "Preliminary design of Ship Lines by Mathematical Methods", Journal of Ship Research, vol. 14(1), 1970, pp.52−66

4) A.M.Reed, H.Nowacki, "Interactive Creation of Fair Ship Lines", Journal of Ship Research, vol. 18, 1974, pp.94－112
5) P.S.Granville, "Geometrical Characteristics of Stream Shapes", Jounal of Ship Research, vol. 13(4), 1969, pp.299－313.
6) H.Lackenby, "On the Systematic Geometrical Variation of Ship Forms", Transaction INA. vol. 92, 1950, pp.289－316
7) 김홍수, "B-spline Surface기법을 이용한 선체형상의 표현에 관한 연구", 부산대대학원 석사학위논문, 1990.
8) 김수영, 강사원, 우일국, "선형의 변환기법에 관한 연구", 부산대학교 공과대학 연구보고, 12.1990.
9) 김수영, 강사원, "실적선 DATA를 이용한 기준선형의 정의 및 변환", 대한조선학회, 1991.

(접수일자 : 1991. 11. 14)