

## Sciences in the Song and Yuan Dynasties II

송·원대의 과학에 대하여 II

—금에서 원으로—

JIN Yuzi 金玉子 KIM Young Wook\* 김영욱

This survey is the second part of the history of science of Song and Yuan dynasties and will covers the period from Jin to Yuan. Following the first part, we look at the calendrical astronomy, mathematics and medicine. In this survey we again follow Yabuuchi's work on the history of science of Song and Yuan period and Du Shiran's work on the history of science of China. We start from the sciences and mathematics of Jin which inherited those of Northern Song and see how they influenced the whole China including Yuan and Southern Song. As a conclusion the tendency to practical usages in the Southern Song as well as the suppression of Han people in Yuan prevented developments of theoretical sciences in Yuan and Ming later.

*Keywords:* Science and technology of Jin and Yuan, Tianyuanshu.

MSC: 01A13, 01A40, 01A50, 01A80

### 1 들어가기

역사 전체에서 수학사의 내용이 차지하는 바를 비추어 봄으로써 수학사의 문화사적 위치를 가늠하기 위하여 우리 수학사에 가장 큰 영향을 끼친 송·금·원 시대의 수학 발전의 배경을 정리하는 논문[3]의 후편으로 금에서의 학문의 발전과 이것이 남송과 원나라에 어떠한 영향을 끼쳤는가를 알아본다. 이 서베이 논문은 전편과 마찬가지로 야부우치 교수의 교토대학교 인문과학연구소의 연구보고서 《송원시대의 과학기술사(宋元時代の科學技術史)》[6]를 바탕으로 하였고 두시란(杜石然) 교수의 《중국과학기술사고(中國科學技術史稿)》[1]를 극히 일부 참조하였다. 여기서는 금(金, 1115~1234)이 어떻게 북송(北宋, 960~1127)

---

\*Corresponding Author.

JIN Yuzi: Dept. of Applied Math. College of science, Jilin Institute of Chemical Technology  
E-mail: jinyuzi2011@sina.cn

KIM Young Wook: Dept. of Math., Korea Univ. E-mail: ywkim@korea.ac.kr

Received on Apr. 2, 2015, revised on May 4, 2015, accepted on May 12, 2015.

의 수학 발달을 이어받았으며 이를 발전시켜 원(元, 1271~1368)에서 최고의 수학이 탄생하게 된 과정을 주로 야부우치 교수의 관점에서 바라본다. 이 개론으로써 송나라에서 원나라에 이르는 동안의 중국 학문 발전사에 대한 중국 밖의 시각을 반영한 하나의 관점을 본다고 하겠다. 야부우치 교수가 이 자료를 만든 시기가 일본의 제국주의가 몰락하였던 시점이라는 점과 이러한 연구가 일본의 제국주의가 왕성하던 때에 시작된 것이라는 점도 간과할 수 없으며 일본의 식민사관과 새로운 생각들이 섞여 있다고 보이는 부분도 보인다.

이 시기는 우리에게서 고려 중후반에 해당하며 활발한 송과의 교류에 따라 상당히 많은 산학이 우리에게도 영향을 끼쳤을 것이 거의 확실하다. 현재 역사에서 확인할 수는 없지만 남송과 마찬가지로 고려에도 실용수학이 들어왔을 것이므로 금과 원에서 발달하고 남송에서 구체적인 결실을 얻은 고급 산학이 어느 정도 고려의 수학에 영향을 끼쳤을까가 가장 궁금한 대목이다. 그러나 여기서는 이에 대하여 전혀 가늠할 수 없다. 따라서 이 논문은 일본 사가의 관점을 최소한으로 모아 두는 정도로만 의미를 가지며 차후 중국 및 서양 학자들의 관점과의 비교 및 우리 사료를 발굴한 부분과의 비교 연구를 통해서 더 보강하여야 할 것이다.

본 논문은 2012년도 고려대학교 학제간연구『한국 수학사 연구회』보고서[2]가 바탕이 되었다.

## 2 금·원 교체기의 과학

중국은 물론 우리나라에서도 천문학의 사명의 하나는 점을 치는 것이고 또 다른 하나는 역법을 만드는 것이었다. 점복술로서의 천문학은 국가의 운명을 예언하고 사회에 불안을 초래할 수 있기 때문에 일반인에게는 금지되어 있었고 따라서 이 학문을 연구하는 것은 매우 제한된 사람들만 가능했다. 중국에서 천문학은 관료기구 속에서 보호되었고, 또 많은 경우 관료의 손에서 진행된 학문이었다.

우선 금이 북송을 멸했을 때에 탈취한 기원력(紀元曆)이, 금의 대명력(大明曆) 및 중수 대명력(重修大明曆)의 기초가 된 것은 이 논문의 전면[3]에서 설명하였지만, 이 밖에 금에서의 천문학 업적은 별로 알려진 것이 없다. 북송 시대에 그렇게 융성했던 천문관측, 특히 항성관측과 같은 것은 행하여지지 않았다. 원우의(元祐儀)를 비롯하여 몇 가지 관측기계는, 북송에서 금으로 옮겨졌지만 그것들은 전혀 사용되지 않았고, 한편 새로운 혼천의(渾天儀)를 주조한다는 계획도 끝까지 실현되지 않았음이 금사(金史) 역지(曆志)에 보인다. 금이 과학 정책을 제대로 펴지 않았다는 것은 이 천문학의 예에서도 알 수 있다.

한편 천문학 속에서 과학적인 계산을 하는 역법은 꼭 민간에게 금지된 것은 아니어서 재야 학자들도 연구가 가능하였다. 수시력(授時曆) 편찬 경과를 보면 이 계획에 참가한 사람들은 금의 치하에서 천문을 담당할 관리와 전혀 관계 없는 사람들인 것을 보면 말하자면

재야 지식인 중에서도 천문학자가 육성되고 있었음을 알 수 있다. 북송에서 부흥한 학구적 전통은 금나라가 되어서는 정부의 손밖에서 민간인이라고 할 한인(漢人) 학자의 손에서 연구되었다. 그리고 그 성과는 천문학이 아닌 수학과 의학 분야에서 명료하게 나타났다.

금·원 교체기에 일어난 새로운 수학인 천원술(天元術) 창시는 재야 수학자에 의한 것이었다고 생각된다. 산학은 북송에서도 정부 보호를 별로 받지 않았지만 금나라에서는 「산학」 제도조차 없어졌다. 그럼에도 중국 산학사에서 가장 빼어난 이론이 이 시대에 만들어진 것은 놀랍다고 하지 않을 수 없다.

천원술 표기법은 「미지수를  $x$ 라 한다」고 하는 현대적인 표현 대신에, 「천원을 하나 세 운다(立天元一)」고 하고 2차항, 3차항 등등 및 상수항을 천원과의 위치에 따라 알아보기 하는 방법이다. 천원술은 계산 과정을 보면 이미 구장산술이 나타나기 이전부터 사용되어온 개방술과 매우 유사하다. 실제 발전 과정을 자세히 알 수는 없지만 아마도 개방술의 계산 과정에서 계산 내용이 단계적으로 정립되어 천원술과 13세기의 새로운 개방술이 되었을 것이라고 추측해볼 수 있다. 천원술 그 이전의 산학이 산술적 문제 풀이 수준이었다면 천원술은 훨씬 복잡한 문제를 처리할 수 있게 되었고 이는 높이 평가될 수 밖에 없다.

## 2.1 이야기의 천원술

천원술을 세상에 처음 소개한 사람은 금나라 말에서 원나라 초기에 활동한 이야(李冶) 혹은 이치(李治, 1192-1279)로 알려진 학자이다. 역사상에는 원나라의 원사(元史)에 나와 있다. 그는 북방의 중심지였던 진정(眞定)의 난성(欒城)에서 태어난 유명한 수학자이자 문학가이고 사학자이다. 그는 수학저술인 『측원해경(測圓海鏡)』 및 『익고연단(益古演段)』 외에 『범설(泛說)』 40권, 『경재고금주(敬齋古今註)』 40권, 『문집(文集)』 40권, 『벽서총삭(壁書叢劄)』 12권 등을 썼다. 이중 『범설』, 『문집』, 『벽서총삭』 등은 실전되었다. 그는 어릴때부터 계산을 좋아하였다고 한다. 금나라 정대(正大) 7년(1230)에 사부(詞賦)로써 진사(進士)가 되고 곧 권지하남군주사(權智河南鈞州事)가 되었다. 그러나 원나라의 몽고군이 쳐들어와 수도 연경이 탈취되고 금은 개봉(開封)으로 남천하였으며 1232년 원나라는 개봉을 침략하여 이야기가 있던 군주(鈞州)도 함락되었다. 그는 북방으로 도피하여 산서(山西)의 혼(忻)과 광(滎) 사이를 오래 방랑하였다고 한다.<sup>1)</sup>

그는 당시의 대 시인 원호문(元好問)과 친교가 있었다.<sup>2)</sup> 금 멸망 후에 원호문은 동평(東平)의 엄실(嚴實)의 비호를 받았고 그 후에도 여러 차례 엄실을 방문하고 있는 것을 보면, 이야도 역시 이 땅에서 지냈으리라 추측할 수 있다. 그는 이 밖에도 북방의 유명한 유학자 왕악(王鶚)

1) 이곳은 산서성(山西省) 태원(太原)에서 가깝고, 대행산맥(太行山脈)을 넘으면 고향인 진정(眞定)과 연락이 되고, 또 혼주(忻州)는 친구 원호문의 고향인 곳이었다고 한다.

2) 1244년에 광산(嶠山)의 동천(棟川)에서 원호문은 이야(字는 인경(仁卿))와 술잔을 나누었다고 하고, 그 때 지은 시가 원유산시집(元遺山詩集)에 남아 있다.

이나 장덕휘(張德輝) 등과도 가까이 지냈다. 이런 어려운 시기에 학자들을 비호해 주는 후원인이 있음으로 해서 학문이 유지되고 발전할 수 있었다는 것을 알 수 있다. 금말·원초에 스스로 원의 지배 밑으로 들어간 하북 지방에서는 봉건영주의 지위를 인정받아서 치안 유지를 하며 한족 문화의 전통을 유지한 호족(豪族)이 적지 않았다.<sup>3)</sup>

이야가 쓴 「경재고금주(敬齋古今註)」 권3에 그가 동평(東平)에서 산경을 하나(一算經) 얻었다고 하고 있다. 이야기가 동평에서 얻은 산경의 이름은 알 수 없지만, 여적술(如積術)을 설명한 것이라고 추측된다. 여적술이란 2개의 대수식을 같다고 놓고서 대수방정식을 푸는 것이었을 것이고 천원술을 사용하였을 지도 모른다. 그러나 이야기가 천원술 책을 써낸 것은 그가 산서(山西)를 방랑했을 때이고, 산서 지방에서 일어난 수학의 영향도 많이 받았을 것이라고 생각된다. 이야기가 경재고금주(敬齋古今註) 권3에 여적술을 서술한 데 이어서 다음과 같이 쓰고 있다:

… 내가 여러 여적(如積)의 도식을 보니, 모두 천원은 위에 있는 것을 써서, 곱하면 이것을 올리고, 나누면 이것을 내린다. 유독 태원(太原)의 팽택언재(彭澤彦材)<sup>4)</sup>의 방법만이 천원을 세워 아래에 둔다. 무릇 지금의 인본복궤(印本復軌) 등의 책이 이같이 천원을 아래에 둔 것은 모두 언재(彦材)의 방법을 따라하는 것일 뿐이다. 언재는 수학에서도 뛰어나다.<sup>5)</sup>

이야는 천원술에서 팽택의 방법을 따르고 있다. 우선 팽택이 태원(太原) 사람이라는 것을 눈여겨 보자. 다음으로 이야기가 천원술을 쓴 것은 측원해경(測圓海經, 1248)과 익고연단(益古演段, 1257) 두 책에서였지만, 익고연단에 저자 본인이 쓴 서문에 의하면 「근세에 어떤 사람이 있어서, 방원(方圓)을 써서 이보(移補)한 책을 만들어 익고집(益古集)이라 부른다」(近世有某者以方圓移補成篇另益古集)라 하고서 익고연단은 이 익고집을 부연한 것이라고 하고 있다.<sup>6)</sup>

천원술의 발달 과정에 대하여는 1303년 주세걸(朱世傑, 松庭선생, 호는 漢卿)이 쓴 사원옥감(四元玉鑑)에 그의 친구 조신(祖頤)이 쓴 서문에 상세히 나와있다. 우선 산경십서(算經十書)들이 天·地·人·物 등의 사원(4개의 미지수) 중에서 하나도 언급하고 있지 않음을 서술한 후에 다음과 같이 쓰고 있다:

3) 익도(益都)의 이전(李全)과 단(壇) 부자, 제남(濟南)의 장영(張榮), 순천(順天)의 장유(張柔), 진정(眞定)의 사천택(史天澤), 동평(東平)의 엄실(嚴實), 충제(忠濟) 부자 등이 유명했다고 한다. 이 중에서 원나라 조정에서 동평로행군만호(東平路行軍萬戶)를 수여 받은 엄실은 특히 유명하였고, 그의 비호를 받은 지식인 중에서 원초의 명신이 많이 나왔다.

4) 언재(彦材)는 팽택(彭澤)의 자(字)라고 추측된다.

5) [원문] 予至東平。得一算經。大概多明如積之術。以十九字志其上下層數。曰。仙、明、霄、漢、壘、層、高、上、天、人、地、下、低、減、落、逝、泉、暗、鬼。此蓋以人為太極。而以天地各自為元而陟降之。其說雖若膚淺。而其理頗為易曉。予遍觀諸家如積圖式。皆以天元在上。乘則升之。除則降之。獨太原彭澤彦材法。立天元在下。凡今之印本復軌等書。俱下置天元者。悉踵習彦材法耳。彦材在數學中。亦入域之賢也。

6) 이 익고집의 저자는 아마도 산서 평양(平陽) 사람 장주(蔣周)라고 야부우치 교수는 추정하고 있는데 이것은 아마도 사원옥감의 서문의 내용에 근거를 둔 듯하다.

그 후, 평양(平陽)의 장주(蔣周)는 『익고(益古)』를 썼고, 박륙(博陸)의 이문일(李文一)은 『조담(照膽)』을 썼고, 녹천(鹿泉)의 석신도(石信道)는 『영경(鈴經)』을 썼고, 평수(平水)의 유여해(劉汝諧)는 『여적석쇄(如積釋鎖)』를 썼고, 강(絳)의 사람인 원유(元裕)의 『세초(細草)』가 있고서야 뒷 사람은 처음으로 천원이 있음을 알았다. 평양(平陽)의 이덕재(李德載)는 이에 따라 『양의군영집(兩儀羣英集)』을 써서 지원(地元)을 겸유하기에 이르렀다. 괘산(霍山) 형(邢) 선생 송불(松不)의 고제자 유대감윤부(劉大鑑潤夫)는 『건곤괄낭(乾坤括囊)』을 썼고 끝 부분에 인원(人元) 두 문제가 있다. 나의 친구 연산(燕山) 주한경(朱漢卿) 선생은 수학을 공부한지 여러해이고 삼재를 다름이 깊으니 『구장』의 숨은 뜻을 찾고 천·지·인·물을 살펴서 사원(四元)을 세워 이루었다.<sup>7)</sup>

이 글에서 둘 째 미지수인 지원을 세운 이덕재 이하는 주세걸의 사원술의 선구자이고 1개의 미지수만을 이야기한 이야보다 나중 사람일 것이다. 야부우치 교수는 여기 언급된 천원술에 관계된 사람들은 이문일만을 빼고 산서의 남부인 분하(汾河) 유역 땅의 사람이라고 하였다. 이 부근에는 금나라 시절에 출판이 제일 왕성하게 이루어진 곳(平水)과 원나라 시절에 방대한 도장(道藏)의 간행이 이루어진 곳(平陽)이 있다. 이 지방은 금나라 시절에 전쟁의 영향이 적은 곳이고 이런 곳에서 학문이 싹텄다고 보인다. 또 이 사람들은 금나라 치하에서 관직에 오른 기록이 없다. 즉 이 사람들은 모두 이력이 명확하지 않고 유명해지지 않은 사람들이다.

이렇게 여러 이름 없는 학자가 이 지방에서 천원술을 창시한 것에 대하여 야부우치 교수는 다음과 같은 추정하고 있다: 원나라 초기 평양에서 도장(道藏)이 만들어진 것은 현도관에서였다.<sup>8)</sup> 많이 간행되었던 도장이 금·원 교체기에 이르러 대부분 산실되어서 산서의 관주(管州)에 유일하게 남아있던 도장을 기초로 하였다. 야부우치 교수는 이 시대의 산서 일대가 전진교(全眞教)의 중심지였으므로 도가(道家)가 수학 연구에 영향을 미쳤고 천원술도 창시되게 되었다고 생각한다. 이야기가 『측원해경』에 쓴 서문에 「노대(老大) 이래로 동연(洞淵) 구객(九客)의 설을 얻었고」 그것이 이 책의 출발점이 되었다고 했다. 야부우치 교수는 동연이라는 인물이 도가의 학자라고 추측한다. 전진교의 지도자 이름에 동진(洞眞), 동명(洞明), 동원(洞元), 동양(洞陽) 등의 이름이 보이는 것을 근거로 들고 있다. 또 원호문도 전진교와 깊은 교섭이 있었으며 이야 자신도 원판 도장이 완성됐을 때 이것을 기념하는 비문(碑文)을 썼다. 시조 왕중양(王重陽)의 사후에 전진교는 급속히 발전함과 동시에 사대부와 왕성하게 교류했으며, 정우(貞祐)의 난 때는 관직을 떠난 사대부들이 전진교 도관에 도피했다고 한다. 야부우치 교수는 이야기가 산서를 방랑했다고 한 것도 도관에 피난한 것일지 모른다고 추정하고 있다.

7) [원문] 厥後, 平陽蔣周撰益古, 博陸李文一撰照膽, 鹿泉石信道撰鈴經, 平水劉汝諧撰如積釋鎖, 絳人元裕之細草, 後人始知有天元也. 平陽李德載因撰兩儀羣英集, 臻兼有地元. 霍山邢先生松不高弟劉大鑑潤夫撰乾坤括囊, 末僅有人元二問. 吾友燕山朱漢卿先生, 演數有年 探三才之頤 索九章之隱, 按天地人物 立成四元.

8) 현도관(玄道觀)은 전진교 도관이다. 금나라 때는 수도 연경에서 많은 도장이 간행되었다.

과학기술 면에서 보면 도가에는 연금술과 본초(本草)에 관심을 가진 사람이 많았으며 또 역수(易數)와 수학에 관심을 가진 학자 또한 많았다. 이런 면에서 도가는 중국 과학기술사에서 흥미롭다. 북송 초기의 진박(陳搏)의 傳에 다음과 같이 쓰여 있다:

박(搏)은 역(易)을 읽기를 좋아하고, 수학으로써 목백장(穆伯長)에게 전수하고, 목(穆)은 이정지(李挺之)에게 전수하고, 이(李)는 (소)강절((邵)康節)에게 전수하고, 소요부(邵堯夫)는 상학(象學)으로써 충방(種放)에게 전수하고, ...<sup>9)</sup>

역과 수학에 뛰어난 진박과 같은 이의 영향은 계속되었을 것이다. 그는 종남산(終南山)<sup>10)</sup>에 숨어 살았고 위의 글을 쓴 충방도 이곳에 살았다. 야부우치 교수는 이러한 학통(學統) 밑에서 천원술이 태어났을 것이라고 하고 있다. 또 미지수를 나타내는 천원 혹은 원(元)이란 글자는 역(易)과의 깊은 관계를 보여준다고 하였다.

한편 남송의 정이동(丁易東)이 저술한 『대연색은(大衍索隱)』에 하도낙서(河圖洛書)에서 출발한 방진도(方陣圖)가 많이 나와 있다. 이 책에는 진박과 소요부(강절)의 이름이 나온다. 이러한 내용은 『양휘산법(楊輝算法)』에도 나오며 도가에서 흥미를 갖는 분야였다고 생각된다. 종래의 고전 수학책이 관리의 실용서(實用書)로서 실용적인 예제를 든 것에 반해서 이의 책은 실용적인 산례(算例)는 전혀 없이 천원술 자체에만 관심을 두어서 사회적 요청과 무관한 것이었다. 이것은 이의의 환경이 현실보다는 이상적이었다는 반증이기도 하다.

## 2.2 주세걸의 사원술

이야의 뒤를 이어서 천원술과 이것을 발전시킨 사원술(四元術)의 저술은 원나라 초기 주세걸(朱世傑)에게서 나왔다. 이의 서문에 나온 이론의 배경은 앞에서 소개하였다. 그러나 주세걸 본인에 대해서는 별로 알려진 바가 없다. 『사원옥감』의 막약(莫若)의 서문에는 그가 연산(燕山) 사람이라고 하고 금·원 교체기에 금나라의 수도 지방에서 태어나서 수학자로 유명해져서 20여년 동안 각지를 주유하였는데 결국 강남의 광릉(廣陵)(지금의 양주(揚州))에 정착하였고 여기에 학생이 운집했다고 한다. 이렇게 일반인으로서 수학 교수로 생활한 사람은 중국 기록에 드물게 밖에 나타나지 않으며 도시의 상공업이 발달한 시대가 낳은 학자였다고 하겠다. 특히 양주는 무역항으로 번영한 곳이어서 그와 같은 수학자가 필요했을 것이다.

그는 우선 『산학계몽(算學啓蒙)』 3권(1299)과 『사원옥감』(1303)을 썼다. 『산학계몽』에는 당시의 도시 생활을 살펴볼 수 있는 예가 많이 있고, 마지막에 천원술 및 개방술 계산이 조금 설명되어 있다. 한편 『사원옥감』은 4개의 미지수를 가진 연립방정식을 다루고 있으며 고급 계산을 논한 책이었다. 이러한 수학은 금나라에서 일어나고 주세걸에 의해 강남 지역에

9) 송의 『명신언행록(名臣言行錄)』 前集 卷10.

10) 종남산은 왕중양이 전진교를 창시한 전진교의 성지이다.

전파되었다. 그러나 주세걸의 노력에도 불구하고 뒤이어서 천원술이나 사원술에 관한 저술은 전혀 나오지 않고 명나라 동안에는 이 수학이 완전히 잊혀져 버렸다. 이는 역시 강남 수학의 경향이 실용 중심으로 흘렀고 민간 중심이었다는 데서 이유를 찾을 수 있을 것이다.

### 2.3 친구소와 양휘

친구소(秦九韶, 1202-1261)는 자가 도고(道古)이고 사천 안악(安岳) 사람이다. 천문·수학·음률·영조<sup>11)</sup> 등에 정통하였고 성격은 잔피가 매우 많았고 학문에서도 엄하고 조심스러웠다고 한다. 그는 아버지를 따라서 수도 임안에 와서 태사에게 역법을 배웠다. 재상이 된 오잠(吳潛)과 친하였으나 오잠이 경정(景定) 원년(1260)에 실각하자 곧 매주(梅州, 광둥)로 피신하여 그곳에서 죽었다. 그가 살았던 시대는 원나라가 금나라를 멸망시킨 때(1234)이고 사회가 혼란하였다. 그는 역법 지식을 인정받아서 1244년에 수도로 불려왔고 통직랑통반건강부(通直郎通判建康府)가 되었다. 그는 다시 연강제치사참의관(沿江制置司參議官)이 되었다가 수서구장을 쓴 시기에는 건강부(현재의 남경)에서 생활하였다.

그가 쓴 산서『수서구장』은 오랜 기간 연구가 쌓여 쓰여진 것으로 그의 생활이 비교적 평안한 1247년에 완성되었다. 전부 18권으로 이루어졌고 내용은 대연(大衍)·천시(天時)·전역(田域)·측망(測望)·부역(賦役)·전곡(錢穀)·영건(營建)·군려(軍旅)·시역(市役)의 9 종류로 나누어져 있으며 각 종류는 9개의 문제를 예문으로 들고 풀이하고 있다. 이 책이 중요한 가장 큰 이유는 이 책에 당시에 나타난 고차방정식의 새로운 해법인 증승개방법(增乘開方法)과 연립1차합동식의 풀이인 대연구일술(大衍求一術)이 들어있기 때문이다.

양휘(楊輝, 13세기 중엽)는 자가 겸광(謙光)이고 항주(杭州) 사람이다. 그의 저작으로 『상해구장산법(詳解九章算法)』 12권이 있으나 현재 전하여지는 부분은 극히 적고, 또 『일용산법(日用算法)』이 있지만 이 책도 전하여지지 않는다. 유일하게 1275년경에 완성한 『양휘산법(楊輝算法)』 7권이 전해진다. 『양휘산법』에는 현재 전해지지 않는 다른 산서의 문제와 방법이 여럿 수록되어 있어서 역사적으로 매우 중요하다. 또 그의 저술에는 주산(籌算) 개혁에 관한 승제간첩법(乘除簡捷法)과 당시 민간 수학교육의 상황에 맞춘 과정표 등이 수록되어 있다고 한다. 『양휘산법』에는 특히 당시 여러 책에 들어 있는 방정식 풀이법이 자세히 소개되어 있으며 이 중에서 유익(劉益)의 설명 등은 증승개방법의 발전 과정을 보여주는 것으로 중요한 자료이다.

남방의 수학의 진수를 보여주는 친구소와 양휘의 책을 보면 이야기의 책과는 달리 현실적인 문제가 주를 이루고 있으며 그 방법에서도 천원술의 소개나 이의 활용법은 보이지 않고 오히려 문제에서 답을 구하는 방법인 개방술에 치중해 있는 것을 볼 수 있다. 이것이 야부우치 교수가

11) 영조(營造): 집 등을 짓거나 물건을 만들음.

설명하는 학구적인 학풍은 잊혀지고 실용적인 수학으로 전환된 모습의 하나라고 보인다.

## 2.4 의학

의학에서도 북송에서 생긴 학문의 전통은 금나라에서도 유지되었고 그 덕분에 새로운 의학으로 발전할 수 있었다. 금나라 치하에서 살았던 성무이(成無己)는 상한론(傷寒論)을 연구하고 이를 내경소문(內經素問)의 이론에 따라 해석하였다. 당시의 의학을 보면 내경에 기초를 둔 운기론(運氣論)이 북송 때에 만들어졌으나 현장에서는 쓸모가 없었다.<sup>12)</sup> 운기론은 왕빙(王冰)이 도입했는데 이것은 폐해가 커서 금·원 교체기를 지나며 사람을 현혹시키는 설들이 난무했다고 전한다. 그럼에도 불구하고 의학에서 금원사대가(金元四大家)가 나왔으며 이들 중 3명은 금나라에서 교육받은 사람이다.

이러한 발전의 원동력은 역시 북송에 학술적 배경을 두고 있다고 야부우치 교수는 보고 있다. 즉 북송의 역대 황제는 모두 의술에 관심이 많았으며 인종(嘉祐)에서 신종(熙寧) 동안 옛 의서를 교간(校刊)함에 따라 의가(醫家)의 연구를 촉진시켰으며 이와 함께 인쇄술도 발달하여 의서가 많이 간행되었다. 특히 두 유명한 의서인 소문(素問)과 상한론(傷寒論)이 결합하였다. 즉 소문은 이론뿐인 책이고 상한론은 처방뿐인 책이었는데 상한론을 소문의 이론으로 해석하면서 의학이 체계화되었다. 이의 핵심에서 성무이가 선구자적 역할을 했다. 그의 저서 주해상한론(注解傷寒論)은 그의 사후에 간행되었는데 금·원의 의가는 모두 이 모델을 따라 이론을 전개했으며 많은 유파가 생겨났다. 이들은 대부분 재야의 의가로서 치료와 연구에 이름을 날렸다.<sup>13)</sup>

중국 의학이 금·원 교체기에 갑자기 변했다고 하는 것은 중국 의학사에서 정설로 본다. 이는 내경소문 의학 이론을 기초로 하여 여러가지 학파가 나타났고 독특한 치료법이 생겨난 데 근거한다. 이호의 이론은 강남에 퍼져서 원나라의 주진형(朱震亨, 1281-1358)에게 이어졌다. 당시 의가 가운데 상당수는 금나라 치하에서 교육받고 강남에서 활동한 것은 마치 주세걸이 금나라 치하에서 공부하고 강남에서 활동한 것을 떠올리게 한다. 이를 보면 북송의 의학이 금나라에서 유지되었다는 것을 알 수 있으며, 야부우치 교수는 이것이 금나라 정부의 영향보다는 이민족 밑에서 한족이 노력한 결과로 보는 쪽이다. 이러한 관점은 긍정적인 부분도 있으나 20세기 중후반 일본 사가가 식민사관을 합리화하는 관점도 일부 보인다.

12) 내경(內經)에는 당시 중국의 의학 이론을 집대성하여 음양(陰陽)·오행(五行)을 중심으로 사변적(思辨的) 이론이 폭넓게 전개되어 있다.

13) 이러한 의가로는 금나라 말의 유완소(劉完素), 장종정(張從正)과 원나라 초의 이고(李杲)가 유명하다. 이고의 스승 장원소(張元素)도 금나라 치하에서 교육받았다. 장종정, 장원소 및 이고는 금사방기전(金史方技傳)에 수록되어 있다.



### 3 원대의 과학

#### 3.1 서역과의 교역

宋代에는 서방과의 교통은 주로 해로(海路)에 의존하였으며 높은 과학 문명을 가진 아랍 문화권과의 왕래가 왕성해졌다. 서방과의 해상 무역은 당나라 때 이미 시작되었고 시박사(市舶使)란 관리가 남방의 여러 항구에 배치되어 있었다. 무역항으로는 영남의 광주(廣州), 교주(交州), 강남의 양주(揚州), 복건의 천주(泉州)가 있었고 그곳에 아랍사람들도 거주했으며 약품, 향신료, 상아 등의 뽕, 장식품과 함께 낫쇠도 수입되었다. 아랍인과의 무역은 송대에 들어서 한 단계 왕성해졌고 송나라 말, 원나라 초에 천주에서 시박사가 된 아랍사람 포수경(蒲壽庚)도 있었다. 이에 반대로 중국은 금, 은, 동전, 비단, 자기(瓷器)를 수출하였으며 수출에 따라서 이러한 물품의 생산도 늘었다. 송나라 자기의 수출로 유명한 경덕진(景德鎮)이 이때부터 번영한 것은 이러한 이유라고 보인다.

해상교통에서는 중국이 큰 배를 건조하였고 이를 타고 먼 해외에까지 진출하였다. 당시의 조선 기술과 항해술은 주목할만하다. 북송 말에는 주욱(朱彧)의 『평주가담(萍州可談)』이 출판되었고 여기서 당시 중국이 나침반을 사용했음을 알 수 있다. 또 조여괄(趙汝适)이 저술한 『제번지(諸蕃誌)』 등에 당시에 알려진 지리학과 박물학의 정보가 나타나 있다.

이와 같이 아랍 문명과의 접촉이 계속되었지만 송나라 시대에는 아랍의 과학문명은 체계적으로 수입되지 않았다. 반면에 원나라는 동양과 서양을 잇는 거대한 제국을 운영하면서 동·서 문명을 교류시켰다. 예를 들면 중국의 화창(火槍)을 유럽에 전한 것이 서양 대포의 기원이 되었다고 추측되며 몽고군이 남송을 공격할 때는 아랍인에게 회회포를 만들게 했다.<sup>14)</sup>

#### 3.2 천문 역법

그러나 원나라에서 서방의 영향으로 발전했다고 생각되는 과학분야는 천문학이다. 원나라는 금나라를 멸망시킨 후, 금나라의 중수대명력(重修大明曆)을 채용했다. 이보다 일찍기 태조 칭기스칸이 서쪽을 정벌하러 사마르칸트에 가서 있을 때, 원나라의 명신인 야율초재(耶律楚材)<sup>15)</sup>가 동서의 거리 차이를 고려하여 그 땅에서 사용할 수 있는 역법을 만든 것도 중수대명력과 마찬가지로 북송의 기원력에 근본을 둔 것이다.

서양에서 온 찰마노정(札馬魯丁)이 서양 역법에 기초한 만년력(萬年曆)을 만들고 7가지 천문 의기를 만들었다. 한편 이란 서북방 일 칸국(汗國)의 마라가(Marāgha)에는 유명한

14) 회회포(回回砲) 또는 양양포(襄陽砲)는 현재의 화포와는 관계 없는 것으로 화약을 써서 날려보내는 대규모의 투석기라고 생각된다. 이를 만든 아랍인은 『원사방기전』에 아노와정(阿老瓦丁), 역사마인(亦思馬因)으로 나와 있다.

15) 야율초재는 요나라 사람이지만 그의 아버지 야율리(耶律履)는 금나라에 관직을 받아서 개력(改曆)에 참여하였다. 야율초재의 역법은 서정경오원력(西征庚午元曆)이라 불리는데, 원사역지(元史曆誌)에 나와 있고 또 서역의 역법에서 오성(五星) 위치 계산법이 우수함을 파악하고 마답파력(麻答把曆)을 만들었다고 한다.

이란인 천문학자 나시르 앓딘 알투시가 홀라구 칸(汗)의 명을 받아서 큰 천문대(天文臺)를 지었는데, 여기에는 중국인 학자도 체류하고 있어서 이 천문대를 통하여 이슬람 천문학이 영향을 미쳤다고 생각된다. 이들 의기는 원사천문지(元史天文誌)에 기록되어 있다.<sup>16)</sup> 또 원나라 비서감지(秘書監誌)에는 당시 아랍에서 전해진 과학 서적의 명칭이 기록되어 있으며 이 중에는 프톨레마이오스의 천문서 『알마게스트』, 유클리드의 『원론』을 비롯하여 이슬람 과학에서의 중요한 문헌들이 있다. 즉 이러한 경로로 아랍과 유럽의 새로운 과학이 유입되었다.

아랍의 천문학은 그리스의 천문학을 이어받고서 이 위에다 많은 정확한 관측을 더하여 그리스 천문학을 발전시켰다. 거기에는 중국에 보이지 않는 많은 관측기계가 있어서 중국과 다른 이론 체계에 의해서 천체 현상을 예보하고, 특히 일식·월식이란 흑성 계산에 대하여는 중국의 천문 계산보다 훨씬 우수했다. 게다가 지원(至元) 8년부터 회회사천대(回回司天臺)가 설치되고, 그의 장관(長官)인 제점(提點)으로 찰마노정이 임명되었다. 이 사천대는 원나라 동안 쪽 사용되었음은 물론 명나라까지 물려서 사용되었다.<sup>17)</sup> 그러나 중국의 전통적 방법을 따르는 사천대는 따로 존재했고, 회회사천대는 서양 학자가 운영하고 중국 천문학자는 여기서 계산된 결과를 이용했을 뿐이다. 이들은 밀접한 학문적 교류 없이 중국의 천문 계산법을 보완하는 수준에 머물렀다. 아랍 천문학의 영향은 관측 기기의 면에서만 보인다.

금나라의 중수대명력을 쓰던 원나라는 중국 정복이 일단락된 지원(至元) 13년에 허형(許衡, 1209-1281), 왕순(王恂), 곽수경(郭守敬, 1231-1316) 등의 한인 학자에게 명하여 새로운 역법을 편찬하도록 하였다. 이 역법은 지원 17년에 완성되어 수시력(授時曆)이란 이름을 하사받고, 다음해에 반포되었다. 개력에서 도수소감(都水少監)의 지위에 있던 곽수경은 천문 의기의 제작에 종사하였다. 그는 간의(簡儀) 이하 13종의 관측기와 정방안(正方案) 이하 5종의 측기(測器)·측도(測圖)를 제작하였다. 이 중 중요한 관측기의 하나인 간의는 유럽에서 사용된 torquetum을 개조한 것이다.<sup>18)</sup> 이러한 儀器와 그에 의한 관측기술에 아랍 천문학의 영향이 보인다. 그러나 그 밖의 모든 것은 종래의 중국 과학과 수학을 사용하였으며 서방의 영향은 없다고 인정된다. 수시력은 중국 역법사에서 획기적인 역법의 하나로서 그 영향은 훨씬 뒤에까지 미쳤다. 명대에 행하여진 대명력(大明曆)은 극히 일부를 제외하면 수시력을 전면적으로 답습한 것이다.

수시력을 편찬하려는 계획은 꽤 일찍 시작되었지만 실제로 개력에 착수한 것은 지원 13년으로 남송의 수도 임안을 함락하고 남송의 역관(曆官)과 역서(曆書)를 입수한 후였다. 이 사업에 남송의 천문학의 도움을 받았지만 개력을 주도한 것은 금나라에서 교육받았으면서도

16) W. Hartner: The astronomical instruments of Cha-ma-lu-ting, their identification, and their relations to the instruments of the observatory of Marāgha, *Isis* 1950, 41, p. 193.

17) 명대에는 회회흡천감(回回欽天監)으로 이름을 고쳤으며 후에 흡천감의 부국(部局)으로서 회회과(回回科)가 되었다. 이것은 청나라 초까지도 이어졌다.

18) 『원조명신사략(元朝名臣事略)』 卷9. J. Needham: *Science and Civilisation in China*, 1959, vol. 3, p. 372.

관직에 있지 않았던 학자들이었다.

수시력 편찬의 중심인물은 허형을 제외하면 모두 유승충(劉乘忠, 1216-1277)의 주변 인물로 대부분이 형주(邢州)에서 태어났으며 그 지방에서 학문을 한 사람들이었다. 개력을 처음 제안한 명신 유승충은 요·금에서 관직에 있던 집에서 태어났고 할아버지대부터 형주(邢州)에 살았으며, 원나라가 형주를 함락하고 원수부(元帥府)를 세웠을 때에 그의 부친은 도통(都統)에 선출되었다. 유승충은 청년기에 관직에 나가지 않았고 한 때는 승려가 된 적도 있지만 결국 세조의 계획에 참여하였다. 그는 대단히 박학하고, 역(易), 소씨경세서(邵氏經世書)를 시작으로 천문·지리·율력·점후(占候)의 학문에 통달하였으며 또 불교에 조예가 깊었다.

그가 젊어서 공부한 형주에서 장문겸(張文謙), 장이(張易), 왕순 등도 공부했으며 이들은 모두 수시력의 편찬에 참여하였다. 또 광수경도 형주에서 태어나서 유승충을 스승으로 삼았다. 따라서 수시력 편찬의 중심인물은 동향인으로서의 의식이 강하여 유승충이 세조에게 부름을 받은 뒤에 그의 추천으로 장문겸, 왕순이 불러왔고 또 장문겸의 추천으로 광수경이 불러왔다. 광수경은 부친인 광영(郭榮)이 오경(五經)에 통하였고 또 산수(算數)와 수리(水利)를 상세히 알아서 광수경이 중통(中統) 3년에 세조에게 추천된 것은 우수한 수리(水利) 기술자로서였다.

수시력을 제정할 때 장문겸(張文謙)과 장이(張易)가 전체 업무를 주관하였지만 실무는 허형, 왕순과 광수경이 담당하였다. 특히 왕순은 지원 16년에 태사령(太史令)이 되어 사실상 최고책임자가 되었다. 또 광수경은 지원 2년부터 도수소감(都水少監)을 맡고 있었는데 지원 16년에 동지태사원사(同知太史院事) 직을 맡아 왕순을 도왔다. 이 세 사람은 각각 서로 다른 분야에 밝았다. 허형은 역리(曆理)에 밝아서 역법의 전체 내용을 결정하였고, 왕순은 역수(曆數)에 밝아서 계산의 실제에서 관료들을 지도하였으며, 광수경은 관측기계 제작과 관측기술에 밝았다. 수시력 편찬이 끝난 지원 17년에 왕순이 타계하고 다음해인 지원 18년에 허형이 세상을 떠나서 수시력의 초고를 정리하는 일은 모두 광수경의 손에서 이루어졌다. 그는 추보(推步) 7권, 입성(立成) 2권, 역의의고(曆議擬藁) 3권 등을 완성하였다. 수시력의 편찬자로는 광수경만이 알려져 있지만 허형과 왕순도 그만큼 중요하다.

수시력에 특징적으로 보이는 새로운 계산법은 왕순의 작품이라고 추측된다. 또 종래의 역이 모두 계산 기점(起點)을 태고(太古)로 잡아서 적년(積年)을 고려해야 했던 것에 반하여, 수시력은 지원 17년을 역원(曆元)으로 하여 역원과의 시간 차가 적고 천문 상수의 분모(法)를 모두 1만으로 하는 일종의 소수 표기법을 채용한 것이 뛰어나다. 이러한 점들은 허형이 담당한 기본 내용에 대한 부분이다.<sup>19)</sup> 한편 수시력의 세실소장지법(歲實消長之法)은 남송의 통천력(統天曆)에 기원을 두고 있다고 추측된다.

19) 원사(元史) 허형전(許衡傳).

### 3.3 학문의 쇠퇴

금말·원초에 최고로 발달한 천원술은 주세걸 등에 의해 강남에 소개되었지만 민간수학에만 열광한 곳에서는 결국 후계자가 나오지 않았다. 원대에 나타난 수학서적이 몇 가지 있지만 수준이 높지 않고 이 중에 온전하게 남아있는 것으로는 가형(賈亨)의 『산법전능집(算法全能集)』, 안지제(安止齊)·하평자(何平子)의 『상명산법(詳明算法)』 정도이다. 이들 내용은 주로 사칙계산을 중심으로 한 일용(日用) 필수 산법을 설명한 것이다. 이 당시에는 주판도 꽤 보급되었다고 생각된다. 따라서 역법과 달라서 정부의 비호를 거의 받지 못한 수학은 수학으로서의 발전을 더 이상 이룰 수 없었다고 보인다.

실용을 중시하고 학술적 연구에서 멀어진 경향은 그대로 명대까지 이어졌다. 이런 이유로 당시 사회상을 비교하여볼 수 있으며 금의 치하에서는 재야 학자들이 학문적 경향을 유지하고 발전시켰으나 이러한 풍조는 북쪽에만 있었으며 금·원 교체기의 전란을 피해 사람들이 모두 강남으로 이주할 결과 이러한 학문적 토양이 사라지고 말았다. 또한 원나라 때에는 한인의 정치참여가 극도로 제한되어 경제적인 활동에 전념하게 됨으로써 학구적 풍토가 사라진 것이 또 하나의 원인이라고 보고 있다.

원나라 정부에서 중요성을 인지하지 못한 수학은 민간에서도 지켜지지 못했을 뿐만 아니라 원이 서역과 교류하는 사이에서도 아랍의 수학을 적극적으로 수입하지 않았음을 알 수 있다. 이미 아랍을 통해서 서양의 수학책까지 수입되었음을 알고 있지만 그것들의 중요성은 아무도 인지하지 못하였고 결과적으로 서역과의 교류에서 학문적 교류와 유입은 천문·역법에서의 제한적 교류 밖에는 보이지 않는다.

의학에서도 일반적 상황은 수학과 별로 다르지 않다. 의학에서 금말·원초의 새로운 의술을 이어받은 주진형(朱震亨, 1281-1358)은 수학의 주세걸과 비슷한 입장에 있었다. 그리고 금말·원초에 의학의 학설이 갑자기 변화한 후에는 다른 변화나 발전 없이 오랫동안 같은 내용을 반복하며 보충하는 수준에 머물렀다. 이것은 남방에서 수학이 발전하지 못한 것과 동일한 전개이며 그 이유 역시 학구적인 전통이 재야의 학자 속에서 잊혀진 것을 의미한다고 볼 수 있다.

물론 의학의 경우에는 역법처럼 관료 기구 중에서 확실한 위치를 점한 학문이기도 했다. 의학에서는 북송시대의 의약서의 복간과 새로운 서적 편찬이 있었다.<sup>20)</sup> 이와 함께 의관(醫官)으로서 정2품의 태의원(太醫院) 직책이 만들어져서 천자의 시의(侍醫)가 되었고,<sup>21)</sup> 중앙에 어약국(御藥局), 대도혜민국(大都惠民局)이 설치되고 의학 교육과 의서 교감을 위한 의학제거사(醫學提舉司)가 설치되었다. 그러나 이것은 일반인을 위한 것은 되지 못하여서 이러한 관청은 강남의 한인 거주 지역에는 전혀 설치되지 않았다.

20) 성제총록(聖濟總錄)과 증류본초(證類本草)이 복각되었다.

21) 원사(元史) 백관지(百官誌) 제4

의약학에 대하여는 자세한 내용이 전해지지 않지만 원사 백관지에는 서역의 치료방법을 사용한 역소가 나와있고 이 중에 광혜사가 있다.<sup>22)</sup> 광혜사에 대한 기사에 나타나는 위사나 고한자는 중국에 와서 살고 있는 서역인을 지칭하는 것으로 추측된다. 이러한 기사가 의약학 분야에서 서방의 영향을 보여준다고 할 수 있다. 한편 회회약물원(回回藥物院)이란 것이 생겼다가 광혜사에 예속되는 등 광혜사를 중심으로한 서역 의학과 교류 가능성이 보이고 있다. 그러나 수학에서와 마찬가지로 정부가 서역 학문에 대한 중요성을 인지하지 못한 것은 여기서도 마찬가지라고 생각된다.

#### 4 결 론

이상으로 송나라에서 시작하여 원나라까지 약 400년 동안의 과학기술사에 대한 야부우치 교수의 관점을 요약하였다. 여기서의 주요 관점은, 첫째 북송을 멸하고 북방을 지배한 금나라의 치하에서 수학이랑 의학 면에서 독창적인 발전이 이루어진 이유와, 둘째 화북을 점거한 금나라와 남쪽의 남송의 학문 경향이 전혀 다른 것과, 마지막으로 원나라는 오히려 남송의 실용적인 학문 경향을 따르게 된 것이다.

결론적으로 북송의 학문적 발전은 정부 중심으로 고전 과학서적을 부활시킴으로써 연구활동이 왕성해진 데 더해서 경험주의적이고 실학적인 학구정신이 상승작용을 했다고 본다. 그리고 금나라 말기에 수학에서 천원술이 창시된 것과 내경소문과 상한론이 어울어져서 의학의 모든 유파가 발생한 것과 같은 독창적 업적은 이러한 북송시대의 학구적 전통을 유지한 데에 있었다. 반면에 북송의 이러한 전통이 남송에 이어지지 못한 것은 정강의 난으로 송나라 내부에서 큰 타격을 입은 데에 있다고 본다. 특히 이러한 전통은 화북의 한민족 사이에서는 유지되었지만 이것이 강남에는 전파되지 못한 것과 강남의 학문 경향이 실용적인 방향으로만 흐른 데에도 그 원인이 있다.

그리고 야부우치 교수의 견해는 여진 및 거란인에게 여러 방면에서 제약받은 한인들이 문화·학문적 활동에서 돌파구를 찾았다는 것이다. 이러한 관점은 받아들일 수도 있어 보인다. 특히 전진교를 중심으로 한 종교적 활동은 제약받은 민족에게 보이는 특징을 그대로 보여준다. 그리고 이것이 바람직한 방향으로 흘러서 수학과 같은 정신활동의 성과로 이어졌다고 본다.

그는 특히 이런 학구적 연구 풍토가 관료를 떠나서 재야의 한인 지식인 사이에서 발전한 것은 특정 지방(산서성 분하구역)의 특이한 종교적 상황과도 상관있다고 보고 있다. 그리고 여기서 지적된 재야 한인 학자들이 하나의 사회 계층을 이루어 학문 유지와 발전에 힘썼다는 것이 사실이라면 이는 조선의 중인 사회가 제한된 상황에서 몇 가지 학문을 유지 발전 시킨 것과 유사한 상황으로 파악할 수도 있다. 이에 대한 비교 연구도 중요하리라 본다. 그가 지적하는

22) 광혜사(廣惠司)는 관직이 정3품으로 어용(御用)의 회회약물(回回藥物)을 만들도록 하였다. 이로써 여러 곳의 위사(衛士)와 수도의 고한자(孤寒者)를 치료하였다.

중요한 점으로 이러한 발전이 단지 실학의 영향뿐이라기보다는 「우주의 근본에 관련된 학문의 이치에 깊은 흥미를 가짐으로써 시작된」 것이라는 견해는 어쩌면 옳은 견해이고 이러한 점에 관심을 가질 수 있는 환경이 만들어진 것이 북송에서 금나라로 이어졌다고 하는 관점에서 설명할 수 있을 것이다.

한편 남쪽의 대중화 방향은 상공업의 발달과 함께 화려하고 복잡한 사회상의 반영이며 과학의 실용성에 무게를 두었다고 본다. 즉 고급이고 이해하기 어려운 학문은 배척되고 조금 저급하지만 바로 사용할 수 있는 주판과 같은 것이 더 환영받은 상황으로 파악한다.

야부우치 교수는 특히 동·서 과학이 활발하게 교류할 기틀이 마련되었지만 실제로는 제한적이었던 이유로 두 진영의 과학수준 차이가 별로 없었다는 것과 함께 원나라의 몽고인이 높은 문명을 가진 민족이 아니어서 소극적인 중개에 그쳤다는 이유를 들고 있으며, 특히 금나라와 원나라 두 이민족의 지배의 결과가 전혀 달랐다는 것을 강조하고 있는 점은 여러 면에서 시사하는 바가 있다.

마지막으로 이 논문을 쓰는 데서 두시란 교수의 자료 [1]와 Needham 교수의 자료 [5]를 제대로 비교하지 못한 점은 큰 약점이다. 또한 역법에서 수시력의 내용과 그 주변의 역사에 대한 자세한 사실은 여기서 논하지 못하였으며 따로 연구와 자료 수집을 필요로 한다. 이 두 부분은 추후 자세한 연구가 있기를 바란다.

## References

1. Du Shiran (ed.), *The History of Science and Technology in China*, 2 volumes, Kexue Chubanshe, 1982. 杜石然 外 編著, 《中國科學技術史稿》, 2冊, 科學出版社, 1982.
2. Kim Young Wook, *The Development of Science and Technology of Song-Yuan Period in China*, Korea University, 2012. 김영욱, 《宋·元代 中國 과학기술의 발전》, 고려대학교, 2012.
3. Kim Young Wook, Sciences in the Song and Yuan Dynasties I, *Journal for History of Mathematics* 28(1) (2015) 1–14. 김영욱, 송·원대의 과학에 대하여 I, *한국수학사학회지* 28(1) (2015) 1–14.
4. Li Yan, Du Shiran, *Chinese Mathematics* (tr. J. Crossley and A. Lun), Oxford Science Pub., 1987.
5. Needham, J., *Science and Civilisation in China*, Cambridge, 1954.
6. Yabuuchi Kiyoshi (ed.), *The History of Science and Technology in Song-Yuan Period*, Hoyu Shoten, Kyoto, 1997. 藪内清 編著, 《宋元時代の科學技術史》, 朋友書店, 京都, 1997.