

『칠정산 외편』의 일식 예보 정확도***

김동빈†

1. 서론

유교를 정치 이념으로 내세웠던 조선의 군주들은 천문 현상을 정치와의 연계선상에서 이해하였다. 수많은 천문 현상 중에서 특히 일식은 매우 불길한 현상으로 여겨졌다. 일식이 예고되면 조선의 제왕들은 자신의 통치 행위를 성찰하는 모습을 보였고, 식이 시작되는 시각이 되면 향을 피우고 북을 치는 등 구식례(救食禮)라 불리는 의식을 행하였다.¹

통상적으로 일식이 일어나기 7일 전까지 역산을 맡은 관청에서 임금에게 구식례를 행할 준비를 아뢰었다.² 국가적인 행사인 구식례를 차질 없이 치르려면, 식이 일어나는 시각은 물론 식분, 방위 등 일식의 세부 사항을 미리 파악하고 있어야 했다. 그러나 조선에서 도입한 역법 중 그 어느 것도 일식 시각을 정확하게 추보(推步)하지 못했다.³ 이 때문에 역산(曆算)을 맡은 관원들은 최소한 세 종류의 역법[三篇法]을 동원하여 식의 진행 상황을 미리 파악하고자 온갖

DOI: <http://dx.doi.org/10.36092/KJHS.2024.46.3.479>

† 독립연구자, skynplanets@naver.com

* 편집자 주: 천문학적 계산 과정과 결과에 대한 검증은 본 학회지의 편집 역량을 벗어나기에 전문 심사위원들의 판단에 의존했음을 밝힌다.

** 원고를 꼼꼼히 읽고 부족한 점을 지적해 주신 심사위원 세 분과, 천문학적 계산에 관한 내용을 검토해 주신 전준혁 박사께 감사드린다.

1 이면우·허운섭·박권수 역주, 성주덕 편저, 『서운관지』 (소명출판, 2003), 122-125; 나일성, 이정복, 『일식과 월식 이야기』 (한국겨레문화연구원, 2002), 83-88.

2 이면우·허운섭·박권수, 앞 책, 122, 178.

3 이은희·한영호, “조선 초 간행의 교식가령(交食假令) 연구”, 『한국과학사학회지』, 34:1 (2012), 62.

노력을 다하였다.⁴

세종 대의 천문 역산 사업이 완결되기 전까지 조선의 공식적인 역법은 수시력(授時曆) 계열의 역법인 대통력(大統曆)이었다. 주지하다시피 수시력 계열 역법의 일식 추보의 기준 위치는 중국의 북경(北京)이다.⁵ 세종 대에 편찬된 『칠정산 내편(七政算內篇)』도 한양 기준의 일출입 계산을 제외하면 대통력과 동일한 역법이다. 따라서 당시로서는 수시력 계열의 어떤 역법을 사용하든 한양에서 관측되는 일식을 정확하게 예보하기란 원리적으로 불가능했다. 이와 같은 상황에서 대통력을 기본으로 하는 내편법 외에 또 다른 역법의 필요성이 대두되었고, 그 해결책은 수시력 계열 역법의 교식(交食) 계산을 보조하는 데 사용되는 회회력(回回曆)을 도입하는 것이었다.⁶

세종의 명에 따라 중국의 회회력을 연구하여 세종 24년(1442)에 완성한 『칠정산 외편(七政算外篇)』(이하 『외편』)은 수시력 계열의 역법과는 전혀 다른 계통의 역법이다. 『칠정산 내편』의 서문에 의하면, 회회력을 얻어 이순지(李純之, 1406-1465)와 김담(金淡, 1416-1464)에게 명하여 교정을 시켰는데, 중국의 역관이 번역한 것에 오류가 있음을 알고, 이를 다시 교정하여 『외편』을 만들었다.⁷

『외편』은 국내에서는 오랫동안 한양의 위도에 맞는 자주적 역법으로 알려져 있었다.⁸ 이 고정관념은 조선의 역관들이 회회력법의 경위 가감 입성(經緯加減立成)과 서역 주야시 입성(西域晝夜時立成)의 자료를 한양의 위도에 맞게 수정하지 않은 채 『외편』에 그대로 사용하였다는 첸지우진(1997)⁹의 연구가 발표

4 시헌력 시행 이후로는 기존의 삼편법(내편법, 외편법, 중수대명력)에 시헌력이 더해져 사편법(四篇法)으로 교식을 추보하였다. 이면우 등, 앞 책, 125, 178.

5 민병희, “조선전기 천문관측기기와 역법의 연구” (충북대학교 박사학위 논문, 2016), 153-156.

6 이은희, 『칠정산내편의 연구』 (한국학술정보, 2007), 22.

7 유경로·이은성·현정준 역주, 『세종장헌대왕실록 26: 칠정산내편 I』 (세종대왕기념사업회, 1973), 13.

8 “칠정산은 모두 한양의 위도, 즉 북극고도를 기준으로 하여 매일의 일출입 주야의 시각을 계산하여 바꾸어 넣은 것이다. 이렇게 하여 완전히 우리나라의 역서를 만들어 쓸 수 있게 한 것이다.” 유경로, “세종대왕의 『칠정산내외편』 편찬”, 한국 천문학사 편찬위원회 편, 『한국 천문학사 연구』 (녹두, 1999), 180; “또 아랍의 역법을 보정하는 한편, 역시 한양을 관측지로 한 칠정산외편도 편찬했다.” 박창범, 『하늘에 새긴 우리 역사』 (김영사, 2002), 166; “이순지와 김담은 한양의 위도에 맞는 수치를 적용하여 회회력의 방법을 총정리해서 칠정산외편을 완성하였다.” 전용훈, “역과 역사”, 국사편찬위원회 편, 『하늘, 시간, 땅에 관한 전통적 사색』 (두산동아, 2007), 137.

된 이후 10년 사이에 (적어도 학계에서는) 타파되었다.

유경로·이은성·현정준(1974)¹⁰의 역주(譯註) 다음으로 『외편』의 수표(數表)를 종합적으로 다룬 연구는 안영숙(2007)¹¹이 유일하다. 안영숙은 첸지우진의 분석 결과를 수용한 듯하나, 이와 별개로 교식 계산에서 외편법이 내편법에 비해 매우 정확했다는 점을 강조하고 있다.¹² 『실록』에 외편법의 일식 예보가 다른 역법에 비해 더 정확했다는 역관의 보고 내용이 네 건 기록되어 있으니, 그 근거가 전혀 없는 것은 아니다.¹³ 그러나 『칠정산 내외편』의 간행(1444)에서 시헌력(時憲曆) 시행(1653)에 이르기까지 한양에서 관측 가능한 일식이 86회나 된다는 점을 감안하면, 『실록』의 단편적인 기록만으로 외편법의 교식 추보의 정확도를 평가하는 데에는 한계가 있을 수밖에 없다.¹⁴

『외편』에서 관측지의 위도에 따라 달라져야 하는 수표(數表)는 경위시 가감차 입성(經緯時加減差立成)과 주야시 궁도분 입성(晝夜時宮度分立成)이다.¹⁵ 두 입성은 북위 32° 기준의 회회력의 수표를 그대로 차용한 것이다.¹⁶ 그렇다면,

9 Jiujin Chen, “Comparative Research between the Hui Hui Calendar, Chiljeongsan Oepyeon and Qizheng Tuibu”, I-S. Nha & F. R. Stephenson eds., *International Conference on Oriental Astronomy from Guo Shoujing to King Sejong* (Seoul: Yonsei University Press, 1997), 105-111.

10 유경로·이은성·현정준 역주, 『세종장헌대왕실록 27: 칠정산외편II』 (세종대왕기념사업회, 1974). 본 논문에서 사용한 역법 용어의 띄어쓰기는 이 책의 기준을 따랐다.

11 안영숙·이용삼, “조선 초기 칠정산 외편의 일식 계산”, 『한국우주과학회지』, 21:4 (2004), 493-504; 안영숙, “칠정산외편의 일식과 월식 계산방법 고찰” (충북대학교 박사학위 논문, 2005); 안영숙, 『칠정산외편의 일식과 월식 계산방법 고찰』 (한국학술정보, 2007).

12 안영숙, 같은 책, 224-226.

13 중종 12년(1517.6.1.), 선조 36년(1603.4.1.), 성종 20년(1489.2.13.), 중종 34년(1539.9.3.). 국사편찬위원회, 조선왕조실록, <http://sillok.history.go.kr> (2024.11.10. 접속); 안영숙(2007), 앞 책, 222.

14 같은 글.

15 경위시 가감차 입성에 포함된 위차(緯差)는 달이 천정(天頂)에서 떨어진 위치에 있기 때문에 생기는 시차(視差)의 위도(緯度) 방향의 성분이다. 그런데 그 값은 관측지의 위도에 의존하므로, 수표를 이용해 식 시각을 보정하는 방식을 취하는 역법에서는 반드시 관측지의 위도를 고려하여 시차(視差)를 계산해야 한다. 이에 관한 자세한 설명은 유경로·이은성·현정준의 역주(181-191, 199-200)를 참조하라. 한편, 『실록』에 일식이 일출 직전이나 일입 직후에 일어난다고 예보된 경우 높은 산 위에 올라가서 관측하게 했다는 기록이 여러 번 나타난다. 이런 일식[帶食]을 예측하려면, 무엇보다 일출입 시각표가 관측지의 위도에 맞게 정확하게 산정되어 있어야 한다. 『외편』에서는 북위 32도 기준의 수표를 수정하지 않고 그대로 채용하였다.

16 필자는 줄기[“칠정산 외편의 일식과 일출입 계산의 전산화” (충북대학교 석사학위 논문, 2009)]에서 천문학적 계산을 통해 Chen, op. cit.에 제시된 주장의 일부(주야시 궁도분 입성

외편법의 교식 추보가 지금까지 알려진 것과 달리 그다지 정확하지 않았을 가능성이 매우 높다. 이 점에 착안하여 외편법에 따라 조선 시대 전 기간의 일식을 추보하고 그 결과를 종합적으로 분석하는 것이 본 연구의 주된 목표이다. 본 연구에서 다룰 문제들은 다음과 같다:

- (1) 외편법으로 계산된 일식의 초휴(初虧)·식심(食甚)·복원(復圓) 시각의 오차는 어느 정도인가?
- (2) 『가령』¹⁸과 『실록』에 기록된 외편법의 예보 시각은 얼마나 정확한가?
- (3) 외편법의 일식 예보는 내편법의 예보보다 얼마나 더 정확한가?
- (4) 태음 중심 행도(太陰中心行度) 보정값은 일식 시각에 어떤 영향을 주는가?
- (5) 외편법의 일식 예보 적중률은 어느 정도인가?

의 기준 위도)를 검증한 바 있다. 그러나 경위시 가감차 입성에 대해서는 직접적인 검증 계산을 수행하지 않았다. 다만 본 연구를 통해 태음 중심 행도 보정값으로 이론값(8궁 3도 58분)을 적용했을 때 외편법의 일식 예보의 최적지가 남경이라는 사실을 간접적으로 입증하였으므로, 첸지우진의 주장이 틀리지 않았다는 것을 알 수 있다. 첸의 연구 이전에 유경로 등이 구면천문학적 계산을 통해 이 입성에 주어진 값들이 북위 30도를 가정하여 계산한 결과와 큰 차이가 없음을 밝힌 바 있다. 유경로 등, 앞 책, 187 참조; 다음 논문에는 칠정산 외편에 수록된 경위시 가감차 입성과 주야시 궁도분 입성의 연원에 관한 매우 흥미로운 논의가 담겨 있다. 이은희·한영호·강민정, “아랍에서 조선까지 이슬람 역법의 전래와 수용”, 『한국과학사학회지』 40:1 (2018), 49-52.

¹⁷ 몇몇 예외적인 경우를 제외하면, 본 논문에서 말하는 오차는 현대적 계산값에서 전통 역법에 의한 계산값을 뺀 값이다.

¹⁸ 이순지·김담, 『칠정산외편정묘년일식가령』, 규장각본(奎179).

2. 선행 연구 검토

1) 여명기: 유경로 · 이은성 · 현정준(1974)에서 안영숙(2007)까지

유경로 등의 역주는 교식 추보의 결과를 직접적으로 검증한 연구는 아니지만 이 분야의 국내 연구자들이 대부분 참조한 중요한 자료로 평가된다. 『외편』의 교식 계산법에 초점을 둔 안영숙의 연구는 종래의 연구에 비해 종합적이고 체계적이기는 하나, 그 내용은 대부분 역주본에 수록된 것과 근본적으로 동일하다. 이전의 연구에 비해 개선된 점은 현대 천체력 기반의 일식 계산 프로그램을 활용해 『가령』의 추보값을 검증한 것이다.¹⁹

국내 학자들의 선행 연구들은 모두 교식 계산에 대한 검증이 『가령』에 수록된 정묘년(1447)의 일식과 월식에 국한되어 있다. 안영숙의 경우 『실록』에 기록된 외편법의 예보 시각을 추가적으로 분석하였으나 그 예보값들이 외편법에 따라 정확하게 계산되었는지 검증하지는 않았다. 안영숙이 외편법의 예보값을 검증하는 데 사용한 프로그램은 DE406을 기반으로 작동하는 고정밀 일식 계산 프로그램이다.²⁰ 이런 정교한 프로그램을 개발하여 『가령』의 예보값을 검증할 정도면, 외편법의 교식 계산 절차를 전산화하여 연구를 수행할 수도 있었을 것이다. 설령 수작업으로 계산하더라도 『실록』에 기록된 네 건의 일식을 외편법으로 추보하는 데는 그리 오랜 시간이 걸리지 않는다. 바로 이 점에서 『외편』의 교식 계산에 관한 안영숙의 연구가 정묘년의 일식과 월식에 국한되어 있다는 사실이 쉽게 납득이 가지 않는다.

안영숙의 연구에서 드러나는 또 다른 특징은 『가령』의 계산값을 무비판적으로 수용한다는 것이다. 조선 초기의 계산 도구가 산가지[算木]²¹ 하나뿐이었다

¹⁹ 안영숙(2007), 앞 책, 223.

²⁰ 안영숙이 개발한 일식 프로그램은 이은희, 한영호(2012)의 교식 가령 연구에서도 사용되었다. 이은희, 한영호, 앞 논문, 59; DE406은 태양계 행성과 달의 위치를 추산하는 데 사용되는 천체력으로 여기에 일식 계산 기능은 들어 있지 않다. DE406을 이용해 일식의 진행 상황을 초단위의 정밀도로 계산하는 것은 결코 간단치 않다.

²¹ 19세기 이전까지 중국과 조선에서 사용된 계산 도구로는 산목(算木), 주산(珠算), 필산(筆算), 주산(籌算), 척산(尺算)이 있다. 이 다섯 가지 계산 도구 중 산목을 제외한 4종은 명나라 이후에 서양으로부터 유입된 것이다. 산목 계산법의 알고리즘은 다음 논문에서 상세히 기술되어 있

는 사정을 감안하면, 『가령』의 계산 예는 놀라우리만치 치밀하고 정확하기까지 하다.²² 더욱이 『외편』에는 수치 처리 방식에 대한 언급이 전혀 없으므로, 『가령』에 암묵적으로 제시된 방식을 따르는 것이 당연하다고 볼 수도 있다. 혹은 추보 과정에서 나타나는 수들을 어떤 식으로 처리할 것인지는 계산을 수행하는 술자(術者)가 판단할 문제라고 볼 수도 있다. 『가령』의 수치 처리 방식이 교식 추보의 정확도에 큰 영향을 주지 않는다면, 이와 같은 문제 제기는 수학사의 관점에서는 유용할지 몰라도 교식 계산법을 고찰하는 연구에서는 별 의미가 없다.

그런데도 이 문제를 다루고자 하는 이유는 유경로 등과 안영숙의 교식 계산에서 중간 계산값들이 모두 『가령』의 값에 맞춰져 있기 때문이다. 예를 들어, 『가령』에서는 달의 경도와 위도를 구하는 과정에서 제₁ 가감차, 제₂ 가감차, 가감 정차, 계도 중심 행도 등의 중간 계산값을 모두 분 단위의 값으로 반올림한다. 현대의 수치 계산에서는 최종 결과를 얻기 전까지는 구현 가능한 최대의 자릿수를 유지하는 것이 일반적이다.²³ 그러나 유경로 등과 안영숙은 『가령』의 방식을 따라 매 단계에서 중간 계산값을 분 단위로 반올림하였다.²⁴

이처럼 유경로 등의 역주 이후로 30년의 세월이 흐르는 동안 『외편』의 교식 계산에 관한 국내 연구는 『가령』의 예보값을 검산하고 그 정확도를 평가하는 정도에 그쳤다.

2) 확산의 시기: 김동빈(2009)에서 한영호(2015)까지

안영숙의 연구와는 다른 관점에서, 이은희·한영호(2012)는 교식 가령의 추보값들을 검증하고 비교 분석하여 주요 역법 간의 차이점을 체계적으로 정리하였다.²⁵ 이들은 “조선에서 도입한 중국의 역법들은 모두 정삭망 계산에 오차를 포함하고 있었으며 이를 근본적으로 해결하지 못한 상황이었음”²⁶을 강조하면서, 『외편』에 대해서는 필자의 졸고(2009)를 인용하였다.²⁷ 더 나아가 외편법의 일

다. 오영숙, “조선 후기 천원술과 산목 계산법의 변화” (서울대학교 박사학위 논문, 2021).

²² 『가령』의 교식 예보가 정확하다는 것이 아니라 수치 연산이 정밀하다는 의미이다.

²³ “반올림은 모든 계산이 끝난 후에 해야 하며, 계산을 시작하기 전이나 자료를 컴퓨터에 입력하기 전에 미리 반올림해서는 안 된다.” (번역: 필자) Jean Meeus, *Astronomical Algorithms* (2nd Edition) (Richmond: Willmann-Bell, Inc., 1998), 21.

²⁴ 유경로, 이은성, 한정준, 앞 책, 112-113, 133-134, 139-140, 149-150; 안영숙, 앞 책, 76-80, 84.

²⁵ 이은희·한영호, 앞 논문, 35-70.

²⁶ 이은희·한영호, 같은 논문, 62.

식 추보가 북정보다는 한양에서 더 정확하게 나타난다는 점에도 주목하였는데, 이에 대해서도 태음 중심 행도 보정값에 관한 필자의 2009년 줄고를 인용하였다.²⁸

필자는 줄고(2009)에서 천문학적 계산을 통해 태음 중심 행도 보정값의 작은 차이가 합삭 시각의 정확도에 중대한 영향을 미친다는 점을 입증하였다. 그러나 보정값의 미세 조정이 의도적이었는지, 혹은 다른 요인에 기인한 것인지는 미처 확인하지 못했다. 이와 관련하여 한영호(2015)는 『외편』의 칠정 행도(七政行度) 보정값이 『회회력법』²⁹의 보정값에 역원(曆元) 이동에 상응하는 행도차를 더한 결과라고 해석하였다.³⁰ 이러한 해석은 필자가 줄고(2009)에서 추측한 것과는 전혀 다른 방향의 주장이다. 한영호가 언급한 『회회력법』이 일본 내각문고(內閣文庫) 소장본이기 때문이다. 리량 등에 의하면, 이 판본은 성화(成化) 13년(1477)에 흠천감(欽天監) 감부(監副) 패림(貝琳)이 편찬한 판본을 융경(隆慶) 3년(1569) 주상(周相)이 재출간한 것으로, 현존하는 회회력법 판본들 중 가장 잘 보존된 것이다.³¹ 한영호는 현존하는 회회력법 판본들 중에서 내각문고 소장본 『회회력법』이 홍무(1396) 원본과 가장 가깝다고 보고 있다.³² 칠정 행도 보정값에 대한 한영호의 해석이 옳다면, 『외편』이 편찬되기 전에 이미 『회

²⁷ 김동빈, 앞 논문. 이 연구는 『외편』에 관한 선행 연구의 한계를 넘으려는 좋은 시도였으나, 짧은 기간에 지나치게 많은 문제를 다루려고 했기 때문인지, 여러 면으로 미숙한 점들이 눈에 띈다: (1) “태음 중심 행도 보정값 분석”에 관한 부연 설명(113-116)은 기본 아이디어만 타당할 뿐 세부적인 내용은 대부분 틀렸다; (2) 합삭 및 식삭 시각의 오차 그래프는 수록되어 있으나 (102-106), 일식 추보의 정확도를 한눈에 파악할 수 있는 수치 자료는 생략되었다; (3) 『실록』의 추보 기록을 분석한 표의 수치 자료 중 3분의 1 가량이 오기되어 있고, 그중에는 『실록』의 추보값이라고 보기 어려운 것이 포함되어 있다(105).

²⁸ 김동빈, 같은 논문, 123-124.

²⁹ 본 논문에서 겹낫표로 둘러싸인 『회회력법』은 일본 내각문고 소장본을 의미한다. 반면, 겹낫표 없이 표시된 “회회력법”은 조선에 전래된 회회력 계열의 역법을 통칭하는 용어로 사용된다.

³⁰ 한영호, “조선의 회회曆法 도입과 『칠정산외편』”, 『민족문화』 45 (2015), 151. 『외편』의 태음 중심 행도 보정값에 대한 한영호의 해석은 다음과 같다: 『외편』의 보정값(8궁 3도 44분) = 『외편』의 역원 이동에 상응하는 행도차(8궁 3도 58분) + 『회회력법』의 보정값(-14분). 반면, 필자가 줄고(2009)에서 해석한 방식은 다음과 같다: 외편의 보정값(8궁 3도 44분) = 『외편』의 역원 이동에 상응하는 행도차(8궁 3도 58분) + 한양과 남경의 경도차를 반영한 보정값(-14분).

³¹ 李亮·呂凌峰·石云里, “《回回曆法》交食精度之分析”, 『自然科學史研究』 30:3 (2011), 307.

³² 한영호, 앞 논문, 131-133.

회력법』의 보정값이 산정되어 있었다는 것이고, 『외편』의 편찬자들은 이 보정값의 의미를 모른 채 그대로 사용한 셈이 된다.

한영호(2015)는 “조선의 회회력법 도입”의 역사적 논의에 머물지 않고, 『외편』의 교식 후보에서 나타나는 정확도를 간단히 분석하였다.³³ 이 논문에서 저자는 명초에 한역된 회회력법이 조선에 도입되어 교식 후보가 가능하도록 수정된 과정을 세밀하게 추적하였다. 그러나 후반부에서 교식 예측의 정확도를 다루는 방식은 전반부의 논리적이고 체계적인 논의와 조화를 이루지 못하고 있다. 이 부분에 대한 추가적인 논의와 보완이 이루어진다면, 한영호의 논문은 『외편』의 연구사에서 중요한 학문적 성과로 자리매김할 수 있을 것이다.

그 외의 다른 연구들은 『외편』의 교식 계산에 초점을 맞춘 연구가 아니라 역법 교류사에 관한 연구이다: 몇 가지 예를 들면, 사여(四餘)의 중국 전래와 동서 천문학의 교류에 관한 이은희·한영호·강민정(2014)의 연구;³⁴ 이슬람 역법의 전래에 관한 이은희·한영호·강민정(2018)의 연구 등이 있다.³⁵

3) 『회회력법』의 일식 예보 정확도: 리량 등(2011)의 분석

『외편』의 교식 계산에 사용되는 수표의 수치가 회회력법에 수록된 것과 동일하다는 점에서, 일본 내각문고 소장본 『회회력법』의 교식 예측의 정확도를 검증한 리량 등(2011)³⁶의 연구를 검토하지 않을 수 없다. 리량 등의 수치 분석 결과에 의하면, 남경 기준의 『회회력법』의 일식 예보는 『대통력법 통궐(大統曆法通軌)』의 예보에 비해 더 정확하다고 보기 어렵다. 이들이 제시한 오차 분포도에서 15세기 중반의 식심 시각 오차(역법의 후보값에서 현대적인 계산값을 뺀 값)를 살펴보면, 그 범위가 0에서 +100분 사이에 있고, 평균 오차는 대략 +40분이다.

서론에서 언급했듯이 회회력법의 경위 가감차 입성과 서역 주야시 입성의 기준 위도는 남경의 위도인 북위 32도이다. 남경의 위도에 맞게 조성된 『회회력법

³³ 한영호, 같은 논문, 157-158.

³⁴ 이은희·한영호·강민정, “사여(四餘)의 중국 전래와 동서 천문학의 교류”, 『한국과학사학회지』 36:3 (2014), 391-422.

³⁵ 이은희·한영호·강민정, “아랍에서 조선까지 이슬람 역법의 전래와 수용” (각주 16).

³⁶ 李亮, 呂凌峰, 石云里, 앞 논문, 306-317. 이 논문은 李亮의 박사학위논문에서 실린 ‘第4章 回曆法交食精度研究’의 내용과 거의 동일하다. 李亮, “明代曆法的計算機模擬分析與綜合研究” (中國科學技術大學 博士學位 論文, 2011), 80-88 참조.

』의 예측이 북경의 위도에 맞춘 대통력법의 예측보다 정확하지 않다는 것은 회회력법의 일식 예보 정확도에 관한 종래의 평가가 틀렸거나 리량 등의 계산에 착오가 있을 가능성을 시사한다.

그런데 리량 등이 제시한 『회회력법』의 식심 시각 오차 분포는 본 연구자가 『외편』의 칠정 행도 보정값을 적용해 남경의 일식을 추보한 결과와 대략 일치한다.³⁷ 즉, 『회회력법』을 사용하든 외편법을 사용하든, 15세기 중반 남경 기준의 식심 시각 평균 오차는 약 40분에 이른다(제5절의 <그림 5> 참조)³⁸. 그러나 리량 등은 보정값의 차이와 관측지 경도의 변화가 일식 추보에 미치는 영향을 충분히 검토하지 않았으며, 『회회력법』이 한양에서 사용되었을 때의 결과에 대해서도 분석하지 않았다. 이에 본 연구는 태양 및 태음 행도 보정값의 변화에 따라 한양, 남경, 북경에서의 일식 예보가 어떻게 달라지는지 구체적으로 규명하고자 하였다.

4) 칠정 행도 보정값에 관한 논의: 김동빈(2009)과 한영호(2015)의 관점

일본 내각문고 소장본 『회회력법』에서는 태음 중심 행도를 산정할 때 총년, 영년, 월분, 일분 입성에서 구하고자 하는 날의 시간 인수에 해당하는 행도를 찾아 합산한 후 14분을 감하여 보정하도록 되어 있다. 이에 비해 『외편』에서는 8궁 3도 44분을 더하여 태음 중심 행도를 바로잡았다. 『외편』의 보정값은 태음 행도 입성을 이용해 구한 보정값에서 14분을 뺀 값이다. 태양 중심 행도의 경우 『회회력법』에서는 입성을 이용해 행도를 계산한 뒤 1분 04초를 감하여 보정하며, 『외편』에서는 8궁 26도 09분 39초를 더하는 방식을 취하였다. 『외편』의 보정값은 역원(曆元) 이동에 따른 행도차를 반영하여 산정되었다. 반면, 『회회력법』의 보정값은 천체의 행도를 보다 정확하게 산출하기 위해 설계된 조정 방식

37 본 연구에서는 현대 천체력(DE431)을 사용하여 일식 시각을 직접 계산하였다. 그러나 李亮 등(앞 논문, 309)은 『中國歷史日食典』을 참조하였음을 각주에서 밝히고 있다. 따라서 李亮 등이 제시한 식심 시각의 오차 분포도는 세부적인 면에서는 본 논문에 수록된 것과 정확히 일치하지는 않는다. 그러나 전체적인 형태는 매우 유사하다.

38 李亮, 呂凌峰, 石云里, 앞 논문, 311; 본 연구자가 외편법(태음 중심 행도 보정값 8궁 3도 58분 적용)으로 15세기 남경에서 발생한 모든 일식을 추보했을 때, 식심 시각 오차의 RMS는 25.7분[표 6 참조], 산술 평균 오차는 -9.3분(李亮 등의 표기법으로는 +9.3분)으로 나타났다. 반면 외편법에 태음 중심 행도 보정값 8궁 3도 44분을 적용했을 때는 오차의 RMS는 48.7분, 산술 평균 오차는 -41.8분으로 계산되었다. 이 두 번째 결과는 『회회력법』(태음 중심 행도 보정값 -14분)으로 계산했을 때와 동일하다.

표 1. 『칠정산 외편』과 내각문고 소장본 『회회력법』의 태양 및 태음 중심 행도, 가배 상리도, 본륜 행도의 보정값 비교

구분	A 일평균 변화량	B 『외편』의 보정값	C 『외편』의 이론값	D C-B	E 『회회력법』의 보정값	E/A (%)
태양 중심 행도	59° 08′	266° 09′ 39″	266° 10′ 45″	-1° 06′	-1° 04′	1.80
태음 중심 행도	13° 10′ 35″	243° 44′	243° 58′	14′	-14′	1.77
가배 상리도	24° 22′ 54″	315° 09′	315° 34′	25′	-26′	1.78
본륜 행도	13° 03′ 54″	151° 00′	151° 14′	14′	-14′	1.79

이며, 역월 이동과는 관련이 없다. 한편, 『외편』의 보정값은 이론값과 일정한 차이를 보이며, 이 차이는 <표 1>에 나타난 바와 같이 『회회력법』의 보정값과 분 단위에서 일치한다.

이와 관련하여, 필자는 2009년 줄고에서 『외편』의 편찬자들이 태음 중심 행도 보정값을 14분 작게 조정함으로써 한양과 남경의 경도차에 따른 달의 황경차를 보정하였고 이를 통해 지방시 문제를 해결하였다고 주장하였다.³⁹ 이러한 조정이 의도적으로 이루어진 것인지, 아니면 역월 이동에 상응하는 보정값을 산정하는 과정에서 나타난 예기치 못한 결과인지는 명확하지 않다. 그러나 이 조정의 결과로, 15세기 중반 한양의 일식 시각을 평균적으로 반각(약 7분) 이내의 오차로 예측할 수 있었다는 점은 분명하다[그림 4 참조]. 필자가 줄고(2009)에서 펼친 주장은 문헌 근거가 없는 추측에 불과하지만, 이은희·한영호(2012)와 이은희·한영호·강민정(2014)에 의해 받아들여짐으로써 기정사실화되는 듯하였다.⁴⁰

이에 반해 한영호는 『외편』의 모든 행도 보정값이 『회회력법』에서 사용된 보정값에 역월 이동에 따른 행도차를 더한 것이라고 해석하였다. 필자가 2009년 줄고에서 펼친 주장이 태음 중심 행도의 정확도 개선에 초점을 맞춘 것이라면, 한영호의 해석은 『외편』의 보정값이 『회회력법』에 주어진 수치를 근본적으로 계승했음을 강조한 점에서 대조적이다.

만일 조선의 역산가들이 보정값을 정밀하게 조정하였다는 것이 사실이라면, 『회회력법』에 나타나는 동일한 수치는 『외편』의 보정값 조정이 회회력법의 편

³⁹ 김동빈, 앞 논문, 109-115, 123-124.

⁴⁰ 이은희·한영호, 앞 논문, 62, 64; 이은희·한영호·강민정, 앞 논문, 421.

찬자에게 일정 정도의 영향을 미쳤음을 시사한다고 볼 수밖에 없다. 이는 필자가 2009년 연구에서 암묵적으로 가정한 바이며, 이 관점에서는 『외편』의 보정값 조정이 『회회력법』의 편찬자에게 영향을 미쳤다는 가설이 필연적으로 전제된다.

물론, 『회회력법』의 편찬자가 『외편』의 보정값 조정치(<표 1>의 E열)와 동일한 수치를 우연히 도출했을 가능성도 배제할 수 없다. 그러나 이 경우, 그 조정치가 왜 하필 남경의 동쪽으로 6~8도 떨어진 지역에 해당하는 값으로 맞춰졌는지 설명하지 않으면 안 된다. 그러나 리량 등을 비롯해 그 어떤 연구자도 『회회력법』의 교식 후보를 논하면서 이에 대한 그럴듯한 설명을 제시한 바가 없다.

제5절에서 살펴보겠지만, 외편법의 일식 후보에서 태음 중심 행도 보정값이 갖는 의미는 대단히 중요하다. 이와 관련하여 칠정(七政) 행도 보정값에 관한 한영호의 해석을 더 자세히 살펴볼 필요가 있다. 한영호는 『회회력법』의 칠정 행도 보정값은 『회회력법』의 칠정 행도 입성이 원래 작성되었던 곳과 홍무본(洪武本) 회회력법이 편찬된 곳인 남경 사이의 경도차를 반영하는 값이라고 보았다.⁴¹

『회회력법』의 입성이 원래 작성되었던 곳(기준점)에서 이 역법을 사용한다면, 태음 행도 입성으로부터 산출되는 달의 평균 황경에 보정을 가할 필요가 없다. 그러나 역법의 기준점과 역법의 사용 장소(관측지)가 동서 방향으로 떨어져 있다면, 두 지점의 경도차에 상응하는 시차(時差)가 계산에 반영되어야 한다. 이제 이 가설이 참이라는 전제하에 『회회력법』의 칠정 행도 입성이 원래 작성되었던 곳의 경도를 추정하여 보자.

『회회력법』의 입성으로부터 산정되는 칠정의 평균 경도는 기준점에서의 오정(午正)에 대한 값이다. 그러나 관측지의 경도가 기준점과 다르면, 두 지점에서 오정에 관측되는 천상은 서로 다를 수밖에 없다.⁴² 관측지가 동쪽으로 이동할수록 해당 지점에서 오정에 관측되는 칠정의 평균 경도는 점점 더 작아진다. 반면, 『회회력법』에 주어진 칠정 행도 입성은 기준점에 대한 값으로 고정되어 있다. 따라서 기준점에서 멀리 떨어진 관측지에서 칠정의 평균 황경을 구하려면, 입성을 이용해 산정한 평균 경도에 두 지점 간의 경도차에 상응하는 만큼의

⁴¹ 한영호, 앞 논문, 148.

⁴² 가장 쉬운 예로, 서울(동경 127도)에서 태양이 남중했을 때 북경(동경 116.5도)에서는 태양이 남중하기 42분 전이라는 사실을 떠올리면 된다.

보정을 가해야 한다. 예를 들어, 북경 기준으로 작성된 태양의 위치 추산표를 서울에서 사용하려면, 수표를 통해 산정된 태양 황경에서 서울과 북경의 경도차(시차)를 반영한 값을 빼 주어야 서울의 오정에 대한 태양 경도를 얻을 수 있다. 달과 오행성에 대해서도 동일한 원리가 적용된다.

태양은 달에 비하면 매우 느리게 움직이므로, 서울과 북경의 경도차에 해당하는 시간 동안 태양의 황경 증가분은 2분 미만에 불과해 실질적으로 큰 영향을 미치지 않는다. 그러나 천구상에서 달은 태양보다 열두 배 이상 빠르게 운행하므로, 두 지점의 경도차에 따른 달의 행도차는 반드시 보정해야 한다. 보정값의 부호는 역법의 사용 장소가 기준점의 동쪽에 있는지, 서쪽에 있는지에 따라 결정된다.

『회회력법』에서 태음 중심 행도 보정값은 -14 분이다. 부호가 (-)로 주어져 있다는 사실은 이 보정값에 부합하는 장소가 기준점의 동쪽에 위치해야 한다는 것을 알 수 있다. 만일 그 장소가 남경(동경 118.8 도)이라면, 『회회력법』의 기준점은 남경의 서쪽에 위치해야 하며, 그 지점이 『회회력법』의 교식 후보가 가장 정확하게 작동하는 위치가 되어야 한다. 그러나 실제로 계산해 보면, 기준점이 남경에서 서쪽으로 멀어질수록 일식 시각의 오차가 점점 더 커진다. 이는 남경이 『회회력법』의 칠정 행도 보정값에 부합하는 장소가 아님을 보여 준다.

놀랍게도 남경을 『회회력법』의 기준점으로 가정하면, 적어도 천문학적인 면에서는 문제가 간단하게 해결된다. 이 가정에 따르면, 『회회력법』의 사용 장소는 남경의 동쪽에 위치해야 하므로, 관측지의 경도를 적정 거리만큼 동쪽으로 옮기면 일식 후보의 정확도가 개선될 것으로 예상된다. 『회회력법』의 태음 중심 행도 보정값에 $\pm 30\%$ 의 오차 범위를 설정하면, 『회회력법』의 사용 가능 지역은 대략 동경 124 도에서 동경 128 도 사이로 추정된다. 이 논의가 타당하다면, 이 범위 내에서 『회회력법』의 일식 후보는 남경 기준의 후보에 비해 월등히 높은 정확도를 보일 것이다. 다만 이 범위 내에서 『회회력법』이 실제로 사용되었을 법한 장소로는 한양 외에 다른 적합한 지역을 찾기 어렵다.

『회회력법』에 따라 후보하면, 관측지의 경도가 동경 127 도에 가까워질수록 일식 시각의 평균 오차는 점점 더 줄어들고, 오차의 표준편차도 감소한다. 동경 127 도, 북위 32 도를 기준점으로 삼아 15세기의 모든 일식을 후보했을 때, 식 시각의 산술 평균 오차는 -5 분 미만으로 나타난다. 한편, 남경에서는 칠정 행도 보정값을 0으로 놓고 계산해야, 회회력법이 편찬된 14세기의 식심 시각 평균 오

차가 0에 가깝게 맞춰진다. 『회회력법』이 아닌 『외편』으로 추보할 경우, 한양에서는 『외편』의 보정값(8궁 3도 44분)을 사용해야 하며, 남경에서는 태음 행도 입성으로부터 산정되는 이론적인 보정값(8궁 3도 58분)을 사용해야 가장 정확한 결과를 얻을 수 있다[그림 4와 그림 5 참조].

본 연구자가 태양 및 태음 행도 보정값과 관측지의 경도를 바꿔 가면서 계산한 결과, 『회회력법』의 칠정 행도 입성이 원래 작성된 장소는 남경이고, 『회회력법』의 사용 장소는 한양으로 가정할 때 아무런 모순이 생기지 않는다. 다시 말해, 『회회력법』은 남경의 오정을 기준으로 작성된 칠정 행도 입성을 남경의 동쪽으로 6~8도 떨어진 장소에서 사용하기 위해 편찬된 역법서로 볼 수 있다. 필자의 추측이 옳다면, 내각문고 소장본 『회회력법』은 성화 13년(1477)에 패림이 편찬한 판본과 내용 면에서 차이가 있을 가능성이 매우 높다. 그러나 이러한 가능성을 받아들일 경우, 『회회력법』 제1책 말미에 패림의 지문(誌文)이 수록된 연원을 밝혀야 하는 문제가 발생한다.⁴³

한영호는 『회회력법』을 남경에서 사용하면 식심 시각이 평균 오차가 약 41분으로 상당히 크게 나타나는 반면, 한양에서는 시차 효과로 인해 평균 오차가 반각 정도로 감소한다고 보았다.⁴⁴ 그러나 그러한 해석은 『회회력법』의 칠정 행도 입성이 작성된 장소가 남경이 아니라는 전제하에서만 성립한다. 따라서 외편법의 일식 추보 정밀도에 대한 논의에서, 리량 등의 수치 분석 결과를 기반으로 한 한영호의 해석은 재검토되어야 한다.⁴⁵

43 『회회력법』 제1책의 말미에 “承德郎南京欽天監副貝琳誌”라는 문구가 기록되어 있다. 맨 앞의 승덕랑(承德郎)은 명나라의 관직명으로 정6품에 속한다. 그 뒤의 내용은 “남경에 있는 흙 천감 부 패림의 기록”이라는 뜻이다.

44 한영호, 앞 논문, 158.

45 “도입부의 추보법이 제대로 갖추어지지 못한 미완의 역법”(한영호, 같은 논문, 127)이었던 『회회력법』이 조선에 들어와 『외편』으로 재탄생하기까지의 과정을 세밀하게 추적한 한영호의 논문은 『외편』을 연구하는 학자들에게는 필독 논문이다. 그러나 외편법의 일식 추보 시각이 남경이나 북경에서보다 한양에서 훨씬 더 정확하게 나타나는 원인을 경도차로 인한 선천(先天) 효과로 설명하였는데, 그 과정에서 약간의 착오가 있었다. 한영호는 2009년 7월 22일의 일식을 예로 들어, 간단한 계산을 통해 북경에서 관측되는 식 시각으로부터 서울의 식 시각을 구하는 과정을 보여 주었다(한영호, 같은 논문, 157-158). 한영호의 간편 계산법은 매우 효율적이고 이해하기 쉽지만, 한 가지 중요한 사항이 고려되지 않았다. 일식 시각을 세계시(UT) 또는 북경의 표준시로 표시한다고 했을 때 서울과 북경의 식 시각이 다른 이유는 다음과 같다. 일식이 진행되는 동안 달의 그림자는 서에서 동으로 이동한다. 이 때문에 북경에서 식이 최대가 되었을 때 서울에서는 해와 달이 아직 식심의 위치에 도달하지 않은 상태이다. 지구가 서울

3. 『칠정산 외편』의 일식 계산 절차와 프로그램의 구조

1) 현대적인 일식 계산

본 연구에서 『외편』의 일식 시각을 검증하는 데 사용한 계산법은 베셀(Bessel)의 방법이다.⁴⁶ 일식 계산에 필수적인 해와 달의 위치는 JPL 천체력(DE431)⁴⁷을 이용하여 계산하였다. 천체력에 적용된 시간 인수는 지구 자전과 무관한 역학시(TD)이므로, 베셀의 방법에 따라 산출된 식 시각 또한 역학시의 시각이다. 이 시각을 지표상에 위치한 관측자의 시간으로 변환하려면, 먼저 역학시의 시각에서 역학시와 세계시(UT)의 차이, 즉 $\Delta T(=TD-UT)$ ⁴⁸를 빼 주어야 한다. 이

과 북경의 경도차만큼 자전하는 동안 달의 황경이 평균적으로 약 18' 증가한다. 이로 인해 서울에서 관측되는 일식의 식 시각을 구하는 데 있어서 북경의 식 시각에 경도차에 상응하는 시차(時差)를 더하는 것만으로는 부족하고, 경도차만큼 지구가 자전하는 동안 달의 황경이 증가함에 따라 식 시각이 늦어지는 효과를 추가해야 서울에서의 식 시각을 정확하게 산출할 수 있다. 그러나 한영호는 단순히 북경과 서울의 경도차가 약 10.5도이므로, 서울의 초휴는 북경의 시태양시로 나타낸 초휴 시각(8시 30분)에 시차 42분을 더한 9시 12분(시태양시)에 일어났다고 설명하였다. 북경의 자오선과 표준시 자오선의 시차도 고려하지 않았기 때문에, 시태양시로 나타낸 북경의 초휴 시각에서 이미 14분의 오차가 발생했다. 현대 천체력(DE431)을 이용해 계산한 서울의 초휴 시각은 시태양시로 8시 57분이다.

표 9. 2009년 7월 22일 개기일식의 진행 상황. 서울의 경위도 동경 126.97°, 북위 37.55°; 북경의 경위도 북위 39.92°, 동경 116.42°; 균시차 = -6.4분; $\Delta T = +1.1$ 분.

	현대 천체력(DE431)						한영호(간편 계산)	
	세계시(UT)			시태양시			시태양시	
	서울(A)	북경(B)	A-B	서울(C)	북경(D)	C-D	서울	북경
초휴	0시 36분	0시 26분	+10분	8시 57분	8시 05분	+52분	9시 12분	8시 19분
식심	1시 48분	1시 32분	+16분	10시 10분	9시 12분	+58분	-	-
복원	3시 05분	2시 44분	+21분	11시 27분	10시 23분	+63분	-	-

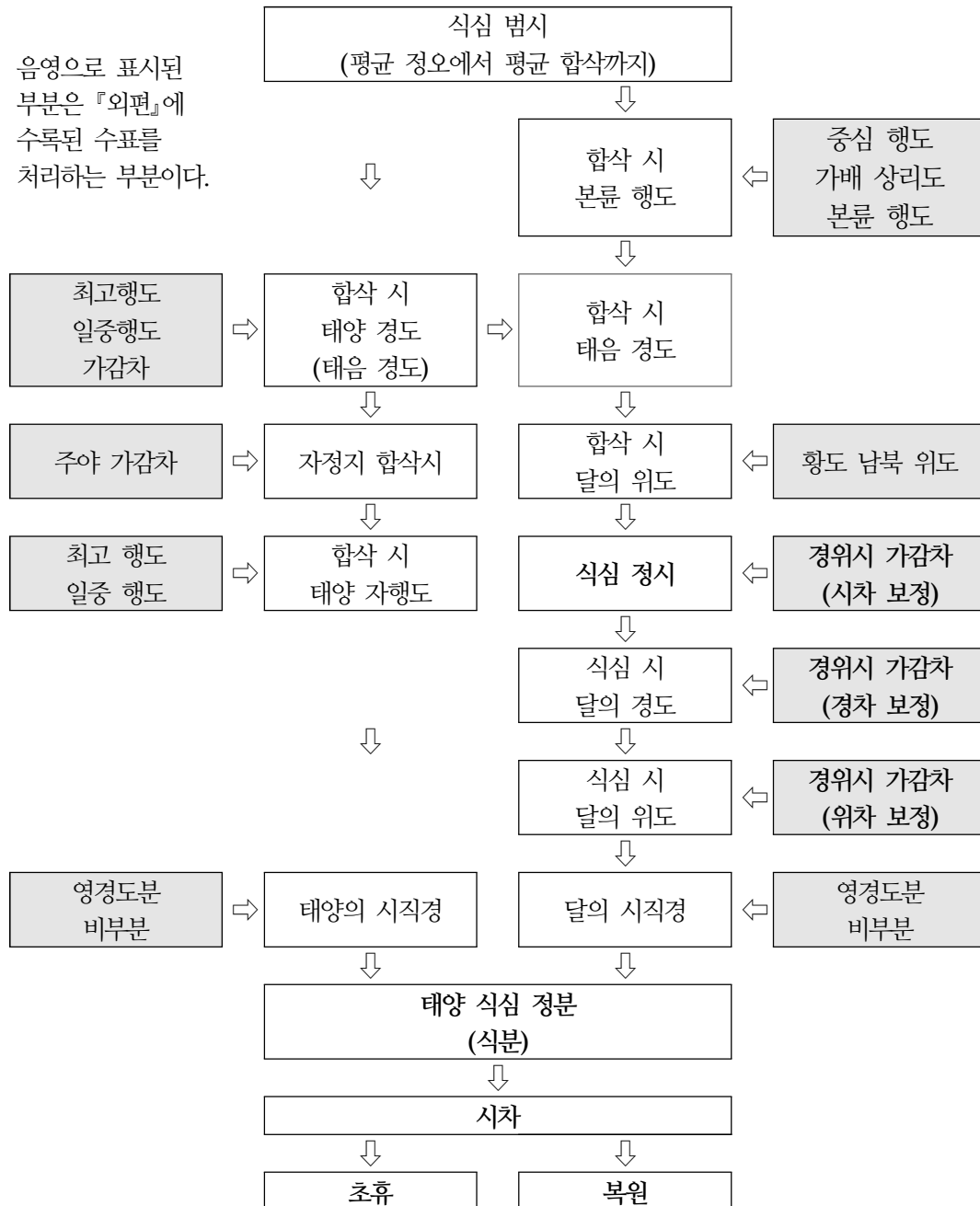
⁴⁶ W. M. Smart & R. M. Green, *Textbook on Spherical Astronomy* (6th Edition), (Cambridge: Cambridge University Press, 1977), 386-401; Jean Meeus, *Elements of Solar Eclipses, 1951-2200* (Richmond: Willmann-Bell, Inc., 1989), 3-30.

⁴⁷ W. M. Folkner, J. G. Williams, D. H. Boggs, R. S. Park and P. Kuchynka, "The Planetary and Lunar Ephemerides DE430 and DE431," The Interplanetary Network Progress Report 42-196 (2014).

⁴⁸ 1620년 이전의 ΔT 값은 다음 논문에 수록된 공식으로 계산하였다. L. V. Morrison & F. R. Stephenson, "Historical values of the Earth's clock error ΔT and calculation of eclipses," *Journal for the History of Astronomy* 35 (2004), 327-336; 1620년 이후는 *The Astronomical Almanac for the Year 2001* (Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 2000)의 D2에 수록된 값을 사용하였다.

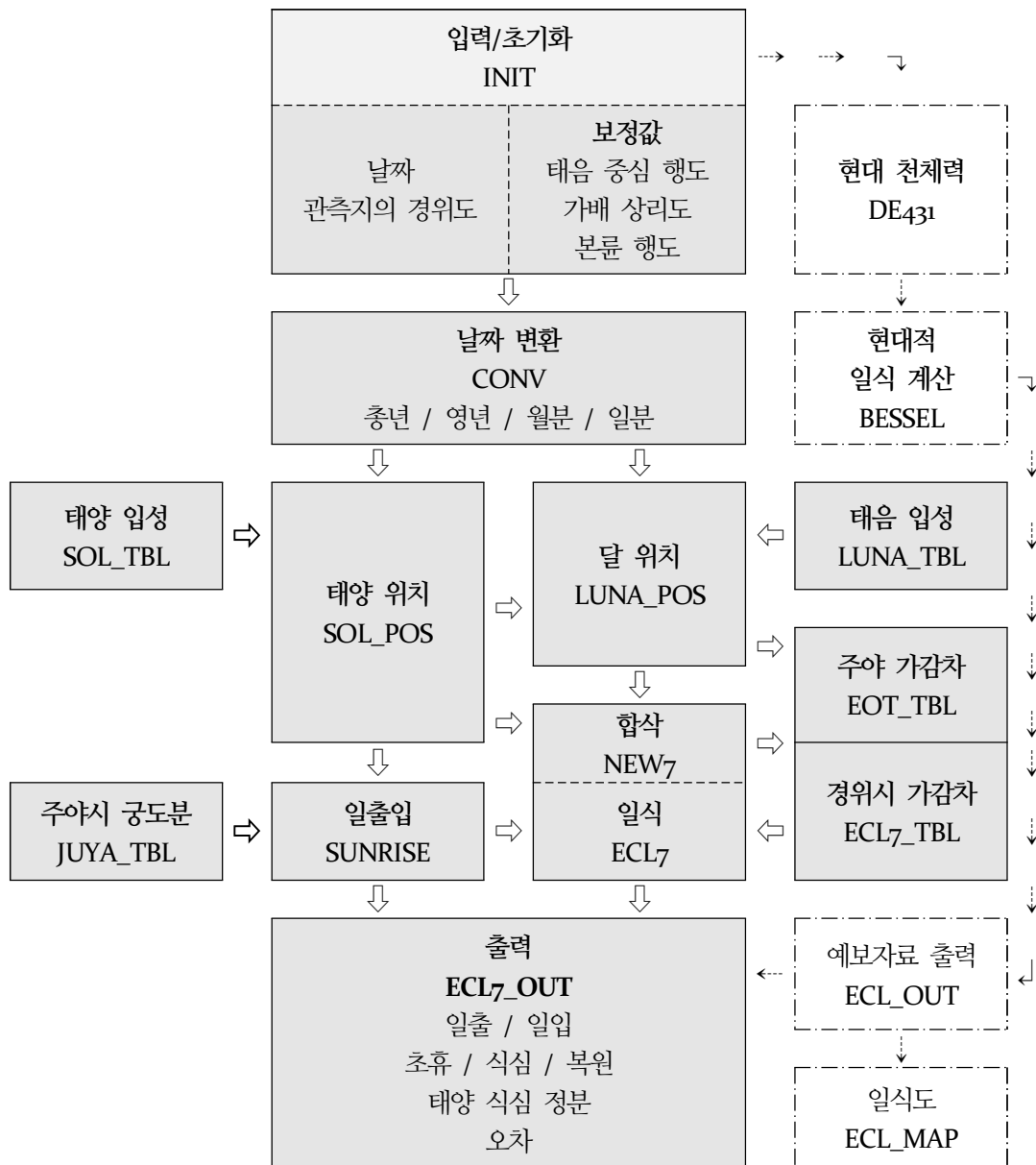
렇게 구한 식 시각에 경도차에 따른 시차를 보정하면 지방 평균시 시각이 산출되고, 여기에 균시차(=시태양시-평균태양시)를 보정하면 『외편』의 시간 척도와 동일한 시태양시 시각이 산출된다.

그림 1. 『칠정산 외편』의 일식 추보 흐름도



『칠정산 내외편』과 같은 전통 역법에서는 관측지의 위치를 별도로 지정하지 않는다. 그러나 현대의 일식 계산에서는 관측지의 좌표가 반드시 있어야 한다.

그림 2. 외편법 일식 계산 프로그램의 구조



본 연구에서는 회회력법과 『외편』의 편찬 장소인 남경과 한양을 관측자 위치로 설정하였다. 회회력법은 북경을 거쳐서 조선에 도입되었으므로 북경에서의 식 시각과 식분도 계산하였다. 한양, 남경, 그리고 북경의 경위도는 각각 다음과 같다: 북위 37.55°, 동경 126.97°; 북위 32.03°, 동경 118.78°; 북위 39.92°, 동경 116.42°.

2) 외편법에 의한 일식 계산

『외편』의 각종 수표들은 일정한 규칙에 따라 일목요연하게 구성되어 있다. 외편법의 각종 수표의 구조를 충분히 이해하고 있다면, 엑셀(Excel®)이나 리브레 오피스캘크(LibreOfficeCalc®) 같은 표 계산 소프트웨어만으로도 외편법의 교식 후보 과정을 전산화할 수 있다. 그러나 수백 년 치 계산 결과를 일괄적으로 분석하려면 컴퓨터 언어를 사용하여 모든 계산을 자동화하는 것이 편리하다.

<그림 1>은 『외편』의 일식 계산의 흐름도이다. 그림에서 음영으로 표시된 부분은 『외편』에 수록된 수표를 처리하는 절차를 나타낸다. 이 흐름도는 합삭 시 달의 경도가 합삭 시 태양의 경도에 연결되어 있다는 점을 제외하면, 내용 면에서 안영숙이 제시한 것과 동일하다.⁴⁹ 『가령』에 후보의 전 과정이 순서대로 나와 있으므로, 흐름도를 만들 필요도 없이 『가령』의 절차를 그대로 따라서 계산하기만 해도 구하고자 하는 값이 산출된다.

<그림 2>는 전산화된 외편법의 일식 계산 구조를 도식화한 것이다. 이 그림에서는 음영으로 표시된 부분이 『외편』의 일식을 계산하는 하위 프로그램이다. 여기서 특별히 짚고 넘어갈 부분은 경위시 가감차 입성이다. 경위시 가감차는 경차(經差)·위차(緯差)·시차(時差)의 세 요소로 이루어지는데, 이 값들은 오정(午正)을 기준으로 합삭이 언제 일어나느냐에 따라 다르게 합삭 때 태양이 위치한 궁(宮)마다 다르다. 따라서 수표의 가로축과 세로축을 따라 이중으로 선형 보간법을 적용해야 한다.⁵⁰ 합삭 시각이 정확하다는 전제하에 식 시각의 정확도는 전적으로 경위시 가감차에 의해 결정된다(제5절 5항 참조).

<표 2>는 세종 29년(1447), 성종 4년(1473), 중종 12년(1517), 선조 36년(1603), 그리고 인조 24년(1647)의 일식에 대해 식의 진행 상황을 계산하는 과정을 정리한 것이다. 1447년의 일식은 『가령』의 후보값, 나머지 네 건은 『실록』에 기록된 값(계산값 또는 관측값)과 비교하기 위한 것이다.

49 안영숙, 앞 책, 120.

50 유경로·이은성·현정준, 앞 책, 178-191; 안영숙, 앞 책, 95-101.

표 2. 『칠정산 외편』의 일식 계산 과정

순서	항목	1447.9.10.	1473.4.27.	1517.6.19.	1603.5.11	1647.1.06.
시간 인수	총년	870	900	930	1020	1050
	영년	5	1	17	15	30
	월분	7	12	6	12	12
	일분	1	1	1	2	1
1	오정의 태양 경도	175.3642	45.4957	96.4941	49.8911	285.9287
2	태양 일행도	0.9813	0.9626	0.9522	0.9620	1.0209
3	오정의 태음 경도	173.2058	44.1566	95.7900	51.1422	287.8781
4	태음 일행도	12.6586	12.0077	12.0232	13.1519	11.9007
5	식심 범시	4.4361	2.9096	1.5263	2.4633	4.3001
6	합삭 시 태양/태음 경도	175.5456	45.6124	96.5546	49.7923	285.7458
7	자정지 합삭시	16.8101	15.2466	13.7672	9.8798	7.8385
8	합삭 시 태양 자행도	84.7064	310.8594	2.6780	312.9258	189.2464
9	합삭 시 태양 경분	33.4157	32.7825	32.4333	32.7538	34.7743
10	합삭 시 본륜 행도	69.1985	329.6341	28.5977	90.2422	343.3922
11	식심 정시	17.8714	16.8693	14.7575	8.9671	6.4388
12	식심 시 태음 경도	176.0735	46.3808	97.0210	50.2579	285.1149
13	합삭 시 계도 행도	6.7069	230.9602	97.1300	236.3221	111.8928
14	합삭 시 계도 상리도	169.3667	175.4206	359.8910	173.0047	173.2221
15	합삭 시 태음 위도	0.9292	0.4015	-0.0096	0.6126	0.5937
16	합삭 시 비부분	3.7665	0.9268	0.8271	5.8602	0.2203
17	식심 시 태음 위도	0.2011	0.2399	-0.2385	0.1993	0.0553
18	태음 경분	32.2488	31.1238	31.0933	33.0941	30.9345
19	이경 절반분	32.8323	31.9531	31.7633	32.9240	32.8544
20	태양 식심 정분	0.621	0.536	0.538	0.640	0.849
21	시차	1.0460	1.0331	1.0246	1.0066	1.2017
22	초휴	16.8254	15.8362	13.7329	7.9605	5.2370
23	복원	18.9173	17.9024	15.7820	9.9737	7.6405
24	일출	5.9064	5.2996	4.9535	5.2415	7.0150
25	일입	18.0936	18.7004	19.0465	18.7585	16.9850
현대 계산 (한양, DE431)	합삭	16.9931	14.8797	14.0575	10.1394	7.3915
	초휴	16.8858	15.3011	13.9892	8.1694	4.9208
	식심	17.9517	16.6419	15.1342	9.4303	5.9875
	복원	18.9294	17.8042	16.1639	10.8514	7.1853
	식분	0.735	0.651	0.305	0.736	0.847
	일출	5.8333	5.0667	4.6500	5.0167	7.2333
	일입	18.0167	18.8167	19.2333	18.9167	16.7500

4. 『칠정산 외편』의 역원과 계산 기점: 헤지라 기원과의 관계

『외편』의 역원(曆元)⁵¹은 수의 개황(開皇) 19년(599년) 춘분날 정오이고, 『외편』에 수록된 각종 수표의 역원은 헤지라 원년 1월 1일(622년) 정오이다. 따라서 해와 달의 중심 행도(평균 황경)를 계산할 때 수표를 이용하여 구한 값에 일정한 값을 보정해 주어야 한다.

『외편』의 역원에 관해서는 유경로·이은성·현정준(1974)과 안영숙(2007)이 자세히 검토한 바 있다. 먼저, 유경로 등은 『외편』의 주응(周應), 즉 역원인 해의 춘분과 그 앞의 회회력 연시 사이의 날수가 342일이기 때문에, 『외편』의 역원은 622년이 아니라 599년이 확실하다고 주장하였다.⁵² 역원이 599년이고, 주응이 342일이면, 계산 기점은 598년의 춘분 이후의 어느 날이 된다. 한편 안영숙은 “(599년의) 춘분일을 언제로 잡는가에 따라 2일 정도의 오차가 발생한다”고 주장하였다.⁵³ 599년의 춘분일이 3월 19일인지 3월 21일인지에 따라 『외편』의 계산 기점은 598년 4월 11일이 될 수도 있고 4월 13일이 될 수도 있다는 것이다. 이와 같은 혼란이 생기는 것은 당시 역관이 사용한 춘분일이 정확히 언제인지 모르는 상황에서 개황 19년이라는 연도와 주응(342일)만으로 그 날짜를 산정하려고 했기 때문이다.

본 연구에서는 춘분 날짜에 직접적으로 의존하지 않는 방식으로 그 날짜를 산정하였다. 물론 최종적으로는 599년의 춘분일, 그리고 『외편』에 주어진 주응 값과 맞추어 보겠지만, 계산 방식 자체는 춘분일과는 직접적인 관련이 없다.

이 문제와 관련하여 『외편』에 주어진 태음 중심 행도 보정값에 대해 다시 한번 살펴볼 필요가 있다. 『외편』에 주어진 보정값은 『외편』의 계산 기점이 598년 4월 12일이라는 전제하에 태음 중심 행도 입성을 이용하여 산정한 보정값보

⁵¹ 유경로 등(1974)은 『외편』의 역원을 두 가지 의미로 사용하였다. 역주본 80쪽에서는 599년 춘분날을 “본 역원”으로 지칭하였고, 81쪽에서 599년 춘분 전의 태음력 연시를 가리킬 때에도 “역원”이라는 용어를 사용하였다(“두 개의 역원 사이의 기간은 A.D. 598.4.13 ~ A.D. 622.7.17”); 안영숙(2007)은 문맥에 따라 “역원”과 “계산 기점”이라는 두 종류의 용어를 사용하였다. 본 연구에서도 안영숙이 사용한 용어를 그대로 채용하였다. 즉 599년 춘분날은 “역원”으로, 그 앞에 오는 태음력 연시(598년)는 “계산 기점”으로 구별하여 사용하였다.

⁵² 유경로·이은성·현정준, 앞 책, 11-13.

⁵³ 안영숙, 앞 책, 28.

다 14분 작은 값이다. 달의 평균 일행도가 대략 13도라는 점을 감안하면, 이 차이는 무시할 만하다. 유경로·이은성·현정준(1974)과 안영숙(2007)은 두 값의 차이보다는 양자의 유사성을 강조했다. 즉 『외편』의 계산 기점이 598년 4월 11일(또는 13일)이 아니라면 이렇게 잘 일치하는 결과가 나올 수 없다는 것이다.⁵⁴

『외편』의 계산 기점을 추정하는 데 필요한 천문학적인 정보는 해와 달의 중심 행도 보정값에 포함되어 있다. 천구상에서 태양보다 달이 훨씬 빨리 움직이므로(달의 평균 각속도 = $13.176389^\circ/\text{일}$), 태음 중심 행도 보정값을 사용하는 것이 유리하다. 계산 기점이 하루만 어긋나도 보정값이 크게 달라지기 때문이다. 반대로 보정값이 분 단위에서 약간 부정확하더라도 이로부터 결정되는 계산 기점은 거의 변하지 않는다.

『외편』에 기록된 보정값은 8궁 3도 44분(= $243^\circ 44'$)이다. 이 값은 계산 기점의 중심 행도(0°)에서 역원의 차이에 따른 중심 행도 증가분을 뺀 결과이다. 즉, 중심 행도 증가분 = $360^\circ - 243^\circ 44' = 116.266667^\circ$. 이 값이 산출될 수 있는 모든 가능한 경우는 다음과 같다.

$$\text{mod}(116.266667^\circ + m \times 360^\circ, 360^\circ) = 116.266667^\circ.$$

여기서 m 은 『외편』의 계산 기점으로부터 헤지라 기원까지 평균 태음의 회귀 횟수를 나타내며, 좌변은 360° 이상의 각을 360° 미만의 값으로 환산한다는 것을 의미한다. 그러므로 이 기간의 중심 행도 총 증가분은 다음과 같다.

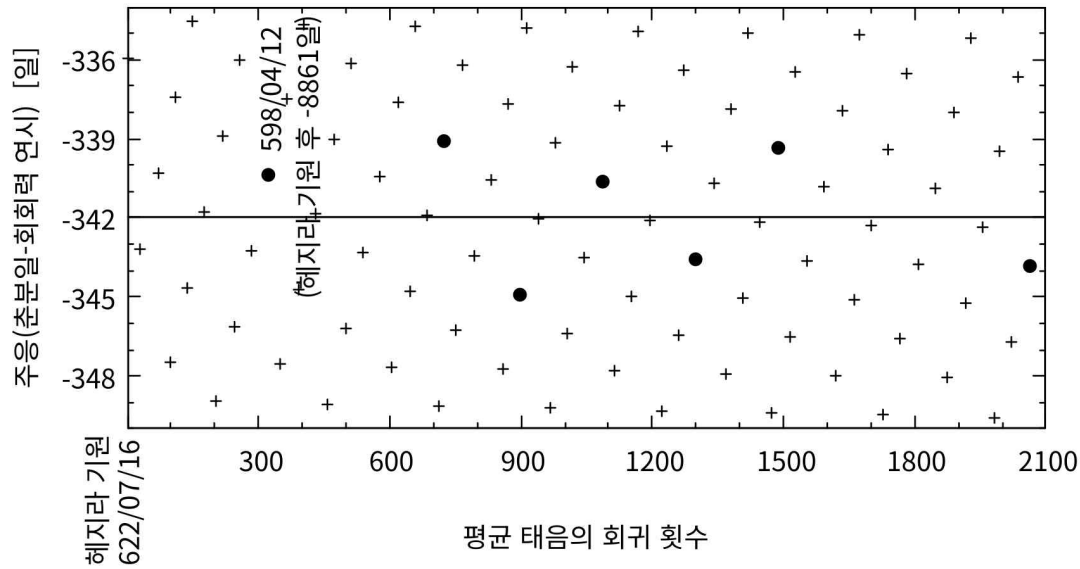
$$\text{중심 행도 총 증가분} = 116.266667^\circ + m \times 360^\circ.$$

헤지라 원년 1월 1일과 계산 기점 사이의 날수를 n 이라고 하면,

$$n = (116.266667^\circ + m \times 360^\circ) / (13.176389^\circ/\text{일}).$$

⁵⁴ “... 달의 중심 행도, 가배 상리도, 본륜 행도의 세 값이 다시 되풀이될 최소의 주기는 $6585\frac{1}{3}$ 일(=18.03년)이므로, 위의 값은 칠정산 외편의 태음력 기점이 태양의 운동(제1장 태양)에서 정해졌던 바, A.D. 598년 4월 13일과 같다는 것을 다시 확인해 주는 셈이다.” 유경로·이은성·현정준, 앞 책, 81-82.

그림 3. 『칠정산 외편』의 태음 중심 행도 보정값을 이용해 산출한 계산 기점



이제 이 식을 이용해 m 을 1씩 증가시키면서 중심 행도 증가분 116.266667° 이 산출될 수 있는 n 값을 하나하나 구한다. 그 예를 몇 가지 들어 보면 다음과 같다.

$$m = 120, n = 3,287.42\text{일}$$

$$m = 324, n = 8,861.02\text{일}$$

$$m = 685, n = 18,724.12\text{일}$$

만일 『외편』에 주어진 보정값이 정확하다면, n 의 소수점 아래의 값은 정확히 0이어야 한다. 그러나 여러 가지 원인으로 그 값이 완벽하게 정확할 수는 없으므로, n 은 정수 값과 아주 약간만 차이가 나는 것이 정상이다. 따라서 위의 예에서 첫 번째와 세 번째 경우는 무의미한 값이다. 그러나 두 번째 경우는 $n = 8,861$ 일과 불과 0.02일 밖에 차이가 나지 않으므로, 『외편』에 주어진 보정값을 설명할 수 있는 n 값의 유력한 후보가 된다. 그리고 이렇게 구한 n 값에 대응하는 날짜가 그해의 춘분날로부터 342일 근처에 있다면, 이날이 바로 『외편』의 계산 기점이 될 수 있는 것이다.

<그림 3>에서 원 모양으로 표시된 일곱 개의 점들은 『외편』의 주응과 태음 중심 행도 보정값에 부합하는 경우를 나타낸다. 여기서 헤지라 원년 1월 1일에 가장 가까운 시점($n = 8,861$ 일) 대신 굳이 다른 시점을 택해야 할 이유는 없다.

따라서 헤지라 기원 이전으로 8,861일째 되는 날이 『외편』의 계산 기점으로 가장 적절하다고 볼 수 있다. 이에 관한 자세한 사항은 다음과 같다.

$$m = 324$$

$$n = 8,861.02\text{일} = 25.0052\text{태음년} = 25\text{태음년} + 1.83\text{일}^{55}$$

$$\text{계산 기점} = \text{JD } 1939578.98 = 598\text{년 } 4\text{월 } 12\text{일 (세계시)}$$

$$\text{역원인 해의 춘분} = 599\text{년 } 3\text{월 } 18\text{일 (세계시; DE431로 계산)}$$

$$\text{주응} = 340.38\text{일 (비교: 『외편』의 주응} = 342\text{일})$$

그림에서 342일 선 바로 가까이에 십자 모양의 점들이 여러 개 있으나 이 점들은 n 의 소수점 아래의 값이 0.1보다 크기 때문에 무의미하다. 예를 들어, $m = 685$ 의 경우 해당 연도의 춘분날로부터 거의 정확히 342일 떨어져 있으나 n 값의 오차가 0.12일(≈ 2.8 시간)로 너무 크다. 이 시간 동안 달의 평균 황경은 1.6° 가량 증가하는데, 이 정도면 15세기 달의 황경 오차의 최댓값(약 1.8°)에 가까운 매우 큰 편차이다.

이처럼 『외편』에 주어진 주응 값과 태음 중심 행도 보정값을 이용해 『외편』의 역원과 계산 기점을 추정할 수 있고, 그 결과는 『외편』에 기록된 역원인 개황 19년(599년)과 잘 맞는다. 더 나아가 『외편』에 기록된 주응 값과 계산상의 주응 값의 차가 약 2일이라는 사실에서 당시 역관들이 추산한 춘분날이 율리우스력으로 3월 20일(세계시) 또는 3월 21일(한양의 지방시)이었음을 알 수 있다.

한편, 내각문고 소장본 『회회력법』의 역원은 당(唐)의 무덕(武德) 5년(622)이다. 한영호(2015)가 지적한 바와 같이, 『회회력법』의 칠정 행도 입성이 회회 태음력에 맞춰 작성되었기 때문에, 이들 입성을 이용해 칠정의 행도를 올바르게 산정하려면 무덕 5년이 역원이어야 한다.⁵⁶ 이 점은 『회회력법』의 행도 입성을

⁵⁵ 안영숙은 헤지라 기원과 『외편』의 계산 기점 간의 날수를 8,862일로 산정하였다. 즉, $8,862\text{일} = 25\text{태음년} + 2.8\text{일}$. 안영숙(2005), 앞 논문, 43; 이 경우 입성의 인수로 사용되는 일본(日分)은 3일이 되어야 한다. 그러나 이렇게 하면 『외편』의 보정값과는 너무나 다른 값이 산출되기 때문에, 안영숙은 소수점 아래의 값을 버리고 ($25\text{태음년} + 2\text{일}$)에 해당하는 값을 구하였다. 유경로·이은성·현정준(1974)은 두 기점 사이의 시간 간격을 ($25\text{태음년} + 1.6\text{일}$)로 보았다. 다만 이들은 통상적으로 율리우스력이 적용되는 시기에 대해서도 그레고리력 기반의 날짜 변환 방식을 사용했으며, JD 값을 제시하지 않았기 때문에 계산이 정확한지 점검하기가 쉽지 않다.

⁵⁶ 한영호, 앞 논문, 136-138.

이용해 태양과 달의 경도를 계산하면 쉽게 확인할 수 있는 사실이다. 또한, <표 1>에서 보듯이, 『회회력법』의 태양 및 태음 행도 보정값은 분 단위 이하의 값으로 주어져 있다. 달의 평균 일행도가 약 13도라는 점을 감안하면, 『회회력법』의 태음 행도 보정값은 0에 가까운 매우 작은 값이다. 이는 곧 『회회력법』에 수록된 보정값들이 역원 이동에 따른 행도차를 보정하기 위한 것이 아님을 명확히 보여 준다.

『외편』과 『회회력법』에 수록된 칠정 행도 입성은 동일하다. 따라서 외편법에 따라 추보할 때 무덕 5년을 역원으로 삼더라도, 적절한 보정값을 적용하기만 하면 『회회력법』으로 추보한 결과와 동일한 값을 얻을 수 있다. 다시 말해, 외편법의 역원을 622년으로 옮기더라도 『회회력법』의 칠정 행도 보정값을 사용하면, 『외편』의 원래 역원과 보정값을 사용할 때와 동일한 결과가 나온다는 것이다.

5. 『칠정산 외편』의 일식 계산의 정확도 분석

1) 『가령』의 일식 계산에서 나타나는 수치 연산의 오차

어떤 계산 도구를 이용하든 수치 연산의 오차를 완벽하게 제거하기란 불가능하다. 근본적인 원인 중의 하나는 반올림 오차이다. 반올림 오차는 수를 한정된 자릿수로 나타낼 수밖에 없기 때문에 생기는 오차이다.⁵⁷

『외편』에서는 수표에 주어진 함숫값으로부터 임의의 가로축 좌푯값에 대응하는 함숫값을 추출할 때 선형 보간법을 사용한다. 다른 조건이 동일하다면, 어떤 도구를 써서 계산하더라도 결과는 동일하다. 그러나 계산 과정에서 나타나는 수를 한정된 자릿수로 나타내어야 한다면, 자릿수의 차이에 따라 계산 결과가 달라지는 문제가 발생한다. 예를 들어, 수표에 주어진 함숫값들이 분 단위까지 표시되어 있다고 해서, 보간법으로 구한 값을 분 단위까지의 값으로 고쳐서 다음 단계의 계산에 사용한다면 최종 결과가 달라지는 것은 당연하다.

『외편』에서 달의 경도를 계산하는 데 쓰이는 수표의 값들은 전부 분 단위까지만 표시되어 있다. 이런 경우 『가령』에서는 보간의 결과를 분 단위 아래에서

57 장건수·송만석·이지수, 『수치해석』 (한국방송통신대학교출판부, 1997), 16-17.

반올림하는 방식을 취한다. 현대의 수치 계산에서는 계산이 종료되기 전까지는 구현 가능한 최대의 정밀도를 유지하는 것이 일반적이다. 이와 대조적으로 『가령』에서는 달의 경도를 계산하는 과정에서 얻은 중간 값들을 다음 단계의 계산에 사용하기 전에 미리 반올림한다. 그런데 태양의 경도를 계산할 때에는 초 단위 값을 반올림하지 않고 그대로 사용한다. 이것은 물론 태양에 관한 수표의 수치가 초 단위까지 표시되어 있기 때문일 것이다.

선형 보간법으로 임의의 시점의 달의 시황경을 구하고 그 결과를 분 단위 아래에서 반올림한다면, 최대 0.5' 의 오차가 발생한다. 이것은 일식 때 계산상의 달이 식심의 위치에 도달하기까지 최대 0.5' 만큼 더 움직이거나 덜 움직여야 한다는 것을 의미한다. 달의 평균 황경이 1' 만큼 증가하는 데 걸리는 시간은 2분 미만이다. 결과적으로 초 단위의 값을 그대로 두고 계산했을 때와 비교하면 식심 시각이 최대 2분가량 빠르거나 늦어지게 된다.

앞서 지적했듯이 『가령』에서는 태양의 황경은 초 단위까지 정밀하게 계산하는 반면 달의 황경은 분 단위까지의 값만 사용한다. 즉 자릿수가 다른 두 수를 가감 연산에 그대로 사용한다는 것이다. 식심 시각의 1차 근사치인 식심 범시(食甚汎時)를 구할 때 해와 달의 황경차가 바로 이런 식으로 계산된다. 정묘년(1447) 8월 정삭일의 해와 달의 황경차를 구하는 절차는 다음과 같다: 5궁 25도 21분 51초 - 5궁 23도 12분 = 2도 09분 51초 = 7,791초.⁵⁸

식 시각을 초 단위의 정밀도로 예보할 수 있는 오늘날의 기준으로 『가령』의 계산이 치밀하지 못했다고 볼 수 있다. 그렇지만 『가령』의 수치 연산 방식을 평가하는 데 있어서 조선 초기의 어떤 역법도 정삭 시각을 만족스러운 수준으로(이를테면, 매년 1각 이내의 오차로) 예측할 수는 없었다는 사실을 고려하지 않을 수 없다. 『가령』의 수치 연산을 현대적인 방식으로 대체한다고 해서 교식 추보의 정확도가 획기적으로 개선되지는 않는다. 정삭 시각에서 이미 크게 어긋났기 때문에, 이후에 이어지는 계산이 아무리 정확해도 최종 결과는 크게 달라지지 않는다. 그렇지만 컴퓨터를 사용하여 옛 역법의 정확도를 검증하는 연구에서는 이런 문제까지도 검토하는 것이 마땅하다.

⁵⁸ 『칠정산 외편 정묘년 교식 가령』, 奎179, 012b-013a; 유경로 · 이은성 · 한정준, 앞 책, 166; 안영숙, 앞 책, 91.

표 3. 『가령』과 『실록』에 기록된 일식 추보의 정확도

날짜	구분	『가령』, 『실록』		전산 외편	DE431	오차		
			A	B	C	C-B	C-A	B-A
		원문	시 분	시 분	시 분	분	분	분
(a) 세종 29년 1447.9.10. (일입 후 복원)	초휴	신정 3각 50초	16 50	16 50	16 53	+3	+3	0
	식심	유초 3각 69초	17 53	17 52	17 57	+5	+4	-1
	복원	유정 3각 88초	18 56	18 55	18 56	+1	0	-1
	식분	6분 21초	0.62	0.62	0.74	+0.12	+0.12	0
(b) 성종 4년 1473.4.27. (예보가 아닌 관측 사례?)	초휴	미정 4각	14 59	15 50	15 18	-32	+19	+51
	식심	x	-	16 52	16 39	-13	-	-
	복원	x	-	17 54	17 48	-6	-	-
	식분	x	-	0.54	0.65	+0.11	-	-
(c) 중종 12년 1517.6.19.	초휴	미초 3각	13 50	13 44	13 59	+15	+9	-6
	식심	x	-	14 45	15 08	+23	-	-
	복원	신초 3각(관측값?)	15 50	15 47	16 10	+23	+20	-3
	식분	x	-	0.54	0.31	-0.23	-	-
(d) 선조 36년 1603.5.11.	초휴	진시초 3각	07 50	07 58	08 10	+12	+20	+8
	식심	진시정 3각	08 50	08 58	09 26	+28	+36	+8
	복원	사시초	-	09 58	10 51	+53	-	-
	식분	x	-	0.64	0.74	+0.10	-	-
(e) 1647.1.6. (일출 무렵 복원)	초휴	x	-	05 14	04 55	-19	-	-
	식심	x	-	06 26	05 59	-27	-	-
	복원	x	-	07 38	07 11	-27	-	-
	식분	日食既	> 0.7	0.85	0.85	0.0	< 0.15	< 0.15

2) 『가령』과 『실록』에 기록된 외편법의 일식 추보 정확도

<표 3>은 『가령』과 『실록』에 기록된 외편법의 추보값(A), 전산화된 외편법의 추보값(B), 그리고 현대 계산법에 의한 예보값(C)을 상호 비교한 것이다. 성종 4년(1473)의 일식 시각은 외편법의 예보값이라고 보기에는 미심쩍은 면이 있다. 그러나 안영숙(2004, 2005, 2007)⁵⁹이 외편법의 예보 사례라고 보았기 때문에 본 연구에서도 자세히 검토하였다. 중종 12년(1517)의 일식도 복원 시각은 예보값이 아닐 가능성이 있다. 『실록』에는 신초 3각에 복원되었다고만 기록되어 있

⁵⁹ 안영숙, 앞 논문, 503; 안영숙, 앞 논문, 168-169; 안영숙, 앞 책, 226-228.

을 뿐 이 시각을 예보값으로 보아야 할 확실한 근거는 없다. 선조 36년(1603)의 일식은 초휴에서 복원까지의 시각이 기록되어 있으나 외편법의 시각에 이르러서 식이 일어났다는 기록은 없다. 그러나 외편법의 시각에 따라 구식을 행하였다는 기록이 있는 것으로 보아 정황상 외편법의 예보값이 관측값과 크게 다르지 않았을 가능성이 높다. 그러므로 선조 36년의 식 시각은 계산에 의한 결과라고 보아도 크게 틀리지 않을 것이다. 인조 24년(1647)의 일식은 한양에서 관측할 수 없는 지하식이었으나⁶⁰ 외편법의 예보 사례로 볼 수 있는 근거가 있기에 검토 대상에 포함시켰다. 보다 구체적인 내용은 이 장의 제5절에서 논의할 것이다.

『가령』에 수록된 정묘년 일식(a)의 후보값은 식 시각이 각(刻) 단위 이하까지 기록되어 있어서 『외편』 편찬 당시의 일식 후보의 정확도를 쉽게 파악할 수 있다. 그러나 『실록』에 기록된 후보값(b, c, d, e)은 초휴에서 복원까지의 식 시각이 모두 기재되어 있는 것은 아니고 그 기록들마저도 식 시각이 각 단위까지만 기록되어 있다.

『실록』의 기록을 통해 『외편』의 일식 후보의 오차를 추정하는 데에는 다음과 같은 한계가 있다. 첫째, 교식 후보의 기본 시간 단위라 할 수 있는 각의 범위가 현대의 시간 단위로 14.4분이기 때문에, 『실록』에 기록된 후보 시각을 60진법의 시각으로 정확하게 환산할 수 없다. 따라서, 초각은 7.2분, 1각은 21.6분, 2각은 36.0분, 3각은 50.4분, 4각은 58.8분으로 환산하거나, 오차의 범위를 표시해야 하는 불편이 뒤따른다. 둘째, 외편법의 후보를 맡은 역관들이 식 시각을 잘못 추산했을 가능성을 배제할 수 없다.

『실록』의 후보값이 『외편』의 절차에 따라 제대로 추산된 것이라고 가정하더라도, 시간 환산 과정에서 최대 ± 7.2 분의 불확실성이 발생하기 때문에, 『실록』에 남겨진 단편적인 기록을 근거로 외편법의 일식 후보의 정확도를 분 단위에서 평가하는 것은 별 의미가 없다는 것이 본 연구자의 소견이다. 1400년대의 정삭을 외편법에 따라 계산했을 때 그 오차가 2각(28.8분) 이상인 경우가 21%나 된다는 점을 감안하면, 세종 시대에는 3분여 이내의 범위에서 잘 맞았다는 주장⁶¹은 설득력이 떨어진다.

⁶⁰ 안영숙·이용복·김동빈·심경진·이우백, 앞 책, 181; 김동빈, “조선시대 일식 기록의 분석”, 『한국의 고천문학 및 천상열차분야지도 워크숍 논문집』 (한국천문연구원, 2006), 79-92.

⁶¹ 안영숙, 앞 책, 228; 이와 관련하여 최고은은 본 연구자의 줄고(2009)에 수록된 인용문 하나

표 4. 『칠정산 외편』의 일식 후보 정확도 (『칠정산 내외편』 편찬 이후 세종 재위 기간)

날짜	식의 진행 상황	외편법 (한양)	DE431 (한양)	오차
		A 시 분	B 시 분	B-A 분
세종 26년 1444.11.10.	합삭	12 00	11 45	-15
	초휴	10 34	9 42	-52
	식심	11 30	10 50	-40
	복원	12 25	12 03	-22
	식분	0.48	0.45	-0.03
세종 27년 1445.5.07.	합삭	11 28	12 01	+33
	초휴	10 09	10 37	+28
	식심	11 18	12 17	+59
	복원	12 26	14 00	+94
	식분	0.92	0.97	+0.05
세종 29년 1447.9.10.	합삭	16 49	17 00	+11
	초휴	16 50	16 53	+3
	식심	17 52	17 57	+5
	복원	18 55	18 56	+1
	식분	0.62	0.74	+0.12
세종 30년 1448.3.05	합삭	13 42	14 01	+19
	초휴	14 33	15 33	+60
	식심	15 06	15 43	+37
	복원	15 40	15 54	+14
	식분	0.16	0.01	-0.15

<표 4>는 『칠정산 내외편』 편찬 이후의 세종 시대(1444-1450)에 한양에서 관측 가능했던 일식을 외편법으로 후보한 결과를 정리한 것이다. 표에 잘 나타

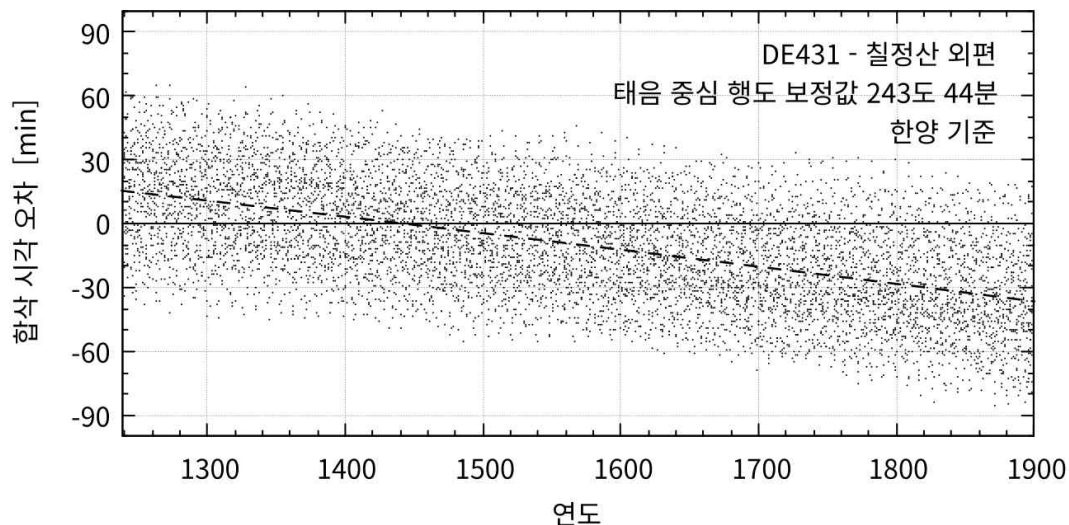
를 부적절하게 인용하였다. 김동빈, 앞 논문, 107의 설명(“안영숙(2005, 2007)은 ... 조선 초기에서 후대로 갈수록 시간 차이가 조금씩 커지면서 선조 36년(1603)에 이르러 30분 이상의 차이가 나타났다고 추정하였다.”)은 안영숙(2007)의 주장을 인용한 것인데, 최고은은 마치 본 연구자가 이와 같은 주장을 한 것처럼 인용하였다. 최고은, “중수대명력(重修大明曆)의 분석과 일식계산의 현대적 비교”, (과학기술연합대학원대학교 박사학위 논문, 2019), 12; 필자가 줄고(2009)에서 말하고자 했던 바는 다음과 같다. “전산 외편으로 1400년대에 한양에서 발생한 37건의 일식을 예보했을 때 식심 시각의 오차가 15분 이내인 경우는 15건으로 전체 일식수의 절반에도 못 미쳤다. 또한 나머지 22건 중에서 오차가 30분을 넘는 경우가 7건이나 되었다.” 김동빈, 같은 논문, 107. 요컨대 필자는 2009년 연구에서 『실록』의 단편적인 기록에 근거한 안영숙(2007)의 주장을 반박한 것이다.

나 있듯이 외편법의 일식 시각의 오차는 세종 시대에 이미 -52분에서 +94분 범위에 걸쳐 있었다. 식 시각의 오차가 이렇게 넓게 나타나는 일차적인 원인은 식심 시각의 1차 근사치로 사용되는 합삭 시각이 정확하지 않기 때문이다.

3) 『칠정산 외편』의 합삭 시각 오차

어떤 역법에서든 일식 시각의 1차 근사값은 합삭(정삭) 시각이다. 『외편』에서는 식심 범시(食甚汎時)에 12시간을 더하여 평균 합삭 시각을 구한 다음 여기에 가감분(加減分)을 더하거나 빼는 방식으로 자정지 합삭시(子正至合朔時), 즉

그림 4. 『칠정산 외편』의 합삭 시각의 오차 분포 [한양(B) 기준]



정삭 시각을 추산한다. 가감분은 합삭시 태양 경도를 인수로 하여 주야 가감차 입성(晝夜加減差立成)에서 구한다.

합삭이란 황도면의 수직 방향에서 내려다보았을 때 해, 달, 지구 중심이 일직선상에 위치하는 순간을 의미한다. 이때 지표상의 관측자 위치는 고려할 필요가 없으며, 오직 해와 달의 황경을 얼마나 정확하게 계산할 수 있는지에 따라 합삭 시각의 정확도가 결정된다. 합삭 시각의 정확도를 좌우하는 가장 중요한 요인은 달의 시황경(視黃經)의 오차이다. 『외편』이 수시력 계열 역법보다 정확하다고는 하나, 달의 시황경을 분 단위까지 정확하게 예측할 수 있는 정도는 아니다. 달의 시황경 계산에서 도 단위의 오차가 발생한다면, 합삭 시각을 1각 이내로

정확하게 추산하는 것은 사실상 불가능하다고 할 수 있다.

일식의 식심 시각은 합삭 시각을 추산하는 것보다 훨씬 더 까다롭다. 식심이란 황도면의 수직 방향에서 내려다보았을 때 해, 달, 관측자가 정확히 일직선상에 놓여서 식이 최대가 될 때를 의미한다. 외편법에서 식심 시각은 합삭 시각에 달의 시차(視差)에 따른 보정값을 더하는 방식으로 구한다. 이때 사용되는 수표가 경위시 가감차 입성이며, 합삭 시각과 합삭시 태양 경도가 수표를 이용한 보간 계산의 인수로 사용된다. 그런데 외편법으로 추산된 태양 경도는 매우 정확한 반면, 합삭 시각은 정확도가 크게 떨어진다. 게다가 수표의 수치가 한양의 위도에 맞게 수정된 것도 아니기 때문에, 수표를 통해 산출된 시차(時差)는 더욱 부정확할 수밖에 없다. 결국 외편법의 일식 시각에 수십 분의 오차가 발생한다면, 그 일차적인 원인은 합삭 시각이 처음부터 부정확하게 결정되었기 때문이라 할 수 있다.

<그림 4>는 외편법으로 계산한 합삭 시각의 오차 분포도이다. 그래프에 표시된 파선은 합삭 시각 오차의 추세를 나타내는 2차 곡선이다. 그림에 잘 나타나 있듯이 조선 초기에도 합삭 시각에서 1각(14.4분) 이상의 오차는 흔하게 나타났다. 기간을 1400년대로 한정해 보더라도, 오차가 1각 이상인 경우는 전체 1237회 중 658회(53.2%)에 달한다. 1각 미만은 579회(46.8%), 1각 이상 2각 미만은 397회(32.1%), 2각 이상 3각 미만은 225회(18.2%)이며, 3각 이상은 36회(2.9%)이다.

표 5. 『칠정산 외편』으로 추산한 합삭 시각 오차 [한양(B) 기준]

기간 (년)	RMS 오차 (분)	오차의 분포 범위 (분)	
		극소	극대
1238 - 1300	26.1	-43.8	+65.2
1301 - 1400	23.4	-44.7	+63.8
1401 - 1500	21.8	-55.0	+53.3
1501 - 1600	23.0	-55.6	+46.1
1601 - 1700	27.3	-68.9	+40.5
1701 - 1800	33.1	-75.4	+33.2
1801 - 1900	39.9	-85.3	+28.8
1238 - 1900	28.6	-85.3	+65.2

<표 5>는 외편법으로 추정한 합삭 시각 오차의 RMS⁶²를 계산한 결과이다.

⁶² 오차의 산술 평균은 각 오차의 부호가 상쇄되어 0에 가까운 값이 나올 수 있다. 반면 오차의 RMS(제곱 평균 제곱근)는 오차의 크기를 모두 고려하기 때문에, 오차의 변동성이 크거나 큰

1400년대의 경우 오차의 극값은 -55분과 +53분으로 오차의 분포 범위가 상당히 넓다는 것을 알 수 있다. 이러한 결과들을 종합해 볼 때 교식 후보에서 수시력 계열의 역법보다 낫다고 하는 외편법도 정작 계산에 상당한 오차가 있었으며 이를 근본적으로 해결하지 못했다는 것을 알 수 있다.

4) 태음 중심 행도 보정값의 차이에 따른 일식 시각의 차이

『외편』은 시현력이 도입된 이후에도 교식 후보에 사용되었다. 본 연구에서는 외편법의 일식 예보의 정확도가 장기간에 걸쳐 어떤 식으로 달라지는지 파악하고자 1238년에서 1900년 사이에 일어난 모든 일식의 초휴, 식심, 복원 시각을 계산하였다.

<그림 5>, <그림 6>, <그림 7>은 각각 한양, 남경, 북경에서 실현된 모든 일식의 식 시각의 오차 분포도이다. 원은 식심 시각, 세모는 초휴 시각, 네모는 복원 시각의 오차를 나타낸다. 각 그림에서, (B)는 외편에 주어진 보정값을 적용하였을 때, (C)는 태음 및 태음 행도 입성으로부터 산출한 보정값을 적용하였을 때의 결과이다. 그래프에 표시된 점선은 식심 시각 오차의 추세를 나타내는 2차 곡선이다.

<그림 5>의 (B)에서 추세선이 가로축을 가로지르는 시기는 15세기 중반이다. 외편법의 일식 후보가 평균적으로 가장 정확한 시기가 바로 이때이다. 여기서 회회력법의 입성을 그대로 사용하는 한 반드시 『외편』에 주어진 보정값을 사용해야 15세기 중반의 식 시각이 가장 정확하게 산출된다는 것을 알 수 있다.

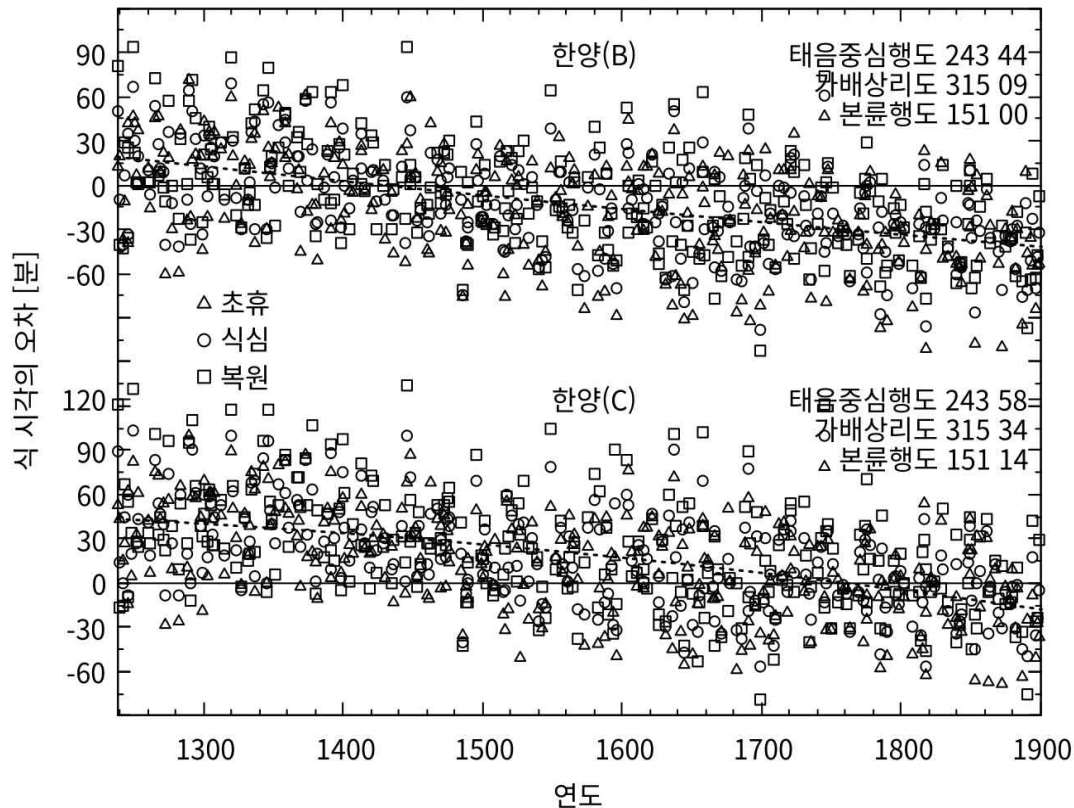
<표 1>의 보정값 중에서 식 시각의 정확도에 결정적인 영향을 미치는 것은 태음 중심 행도 보정값이다. 가배 상리도 및 본륜 행도 보정값은 가감차를 경유하는 간접적인 방식으로 영향을 주기 때문에 그 수치가 조금 변한다고 해서 달의 황경이 크게 달라지지는 않는다. 이와 달리 태음 중심 행도 보정값의 증감은 달의 황경에 그대로 반영된다. 따라서 다른 두 보정값과는 달리, 태음 중심 행도 보정값은 한 치 착오 없이 정확하게 산정할 필요가 있다.

『외편』에 주어진 보정값은 현대의 기준으로 보면 다소 부정확하다. 그러나 태음 중심 행도 보정값을 8궁 3도 58분에서 8궁 3도 44분으로 14분 줄인 결과, 15세기 중반 한양을 기준으로 한 식심 시각의 산술 평균 오차가 0에 가깝게 맞

오차값이 있을 경우 그 값이 상대적으로 크게 나타난다.

추어졌고, 그 결과 경도차에 따른 지방시 문제가 간단하게 해결되었다. 그렇지만 한양의 위도에 맞지 않는 수표를 그대로 사용하였기 때문에 남경 기준의 회회력법에 비해 식심 시각의 정확도가 조금 떨어지는 결과가 초래되었다.

그림 5. 『칠정산 외편』의 일식 시각의 오차 분포 (한양 기준)



<그림 6>은 기준점을 남경으로 바꿔서 같은 계산을 반복한 결과이다. 남경에서는 일식 후보가 가장 정확한 시기는 태음 중심 행도 입성으로부터 산출한 보정값(8궁 3도 58분)을 적용하였을 경우 14세기 후반이다. 마샤이헤이(馬沙亦黑, Mashayihei)가 서역의 역법을 번역하여 회회력법을 편찬하였을 때가 바로 이 시기이다.

<그림 7>은 북경에 대하여 같은 계산을 반복한 결과이다. 북경에서는 입성으로부터 산출한 보정값을 적용하였을 때 13세기 초중반에 가장 정확한 결과가 산출된다. 이 시기는 『외편』에서 일식 계산이 가능한 기간의 상한에 해당되나, 몇 가지 요인이 겹쳐서 우연히 이런 결과가 나온 것일 뿐 입성의 수치를 북경에 맞도록 조정했기 때문은 아니다.

이상에서 살펴본 바와 같이, 『외편』에 주어진 보정값(<표 1>의 보정값 B)을

사용할 경우 한양에서의 일식 시각이 가장 정확하게 예측되는 시기는 15세기 중반이다. 태음 중심 행도 입성으로부터 산출된 보정값(<표 1>의 보정값 C)을 사용할 경우 외편법의 교식 후보가 가장 정확하게 나타나는 장소는 14세기 말의

그림 6. 『칠정산 외편』의 일식 시각의 오차 분포 (남경 기준)

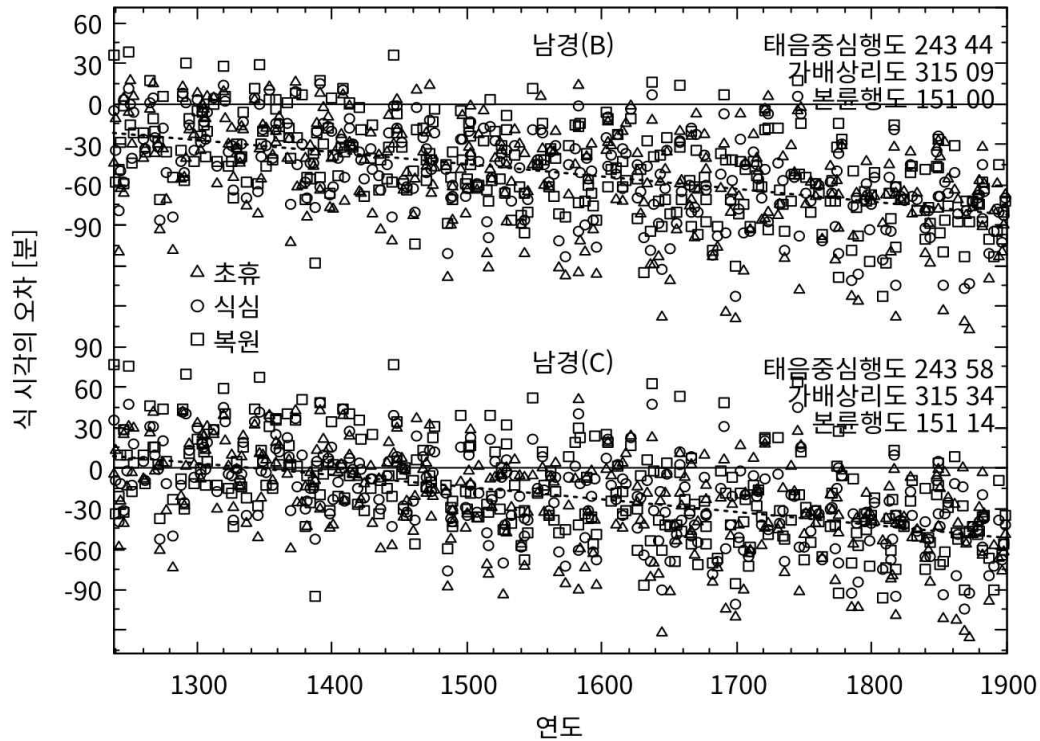
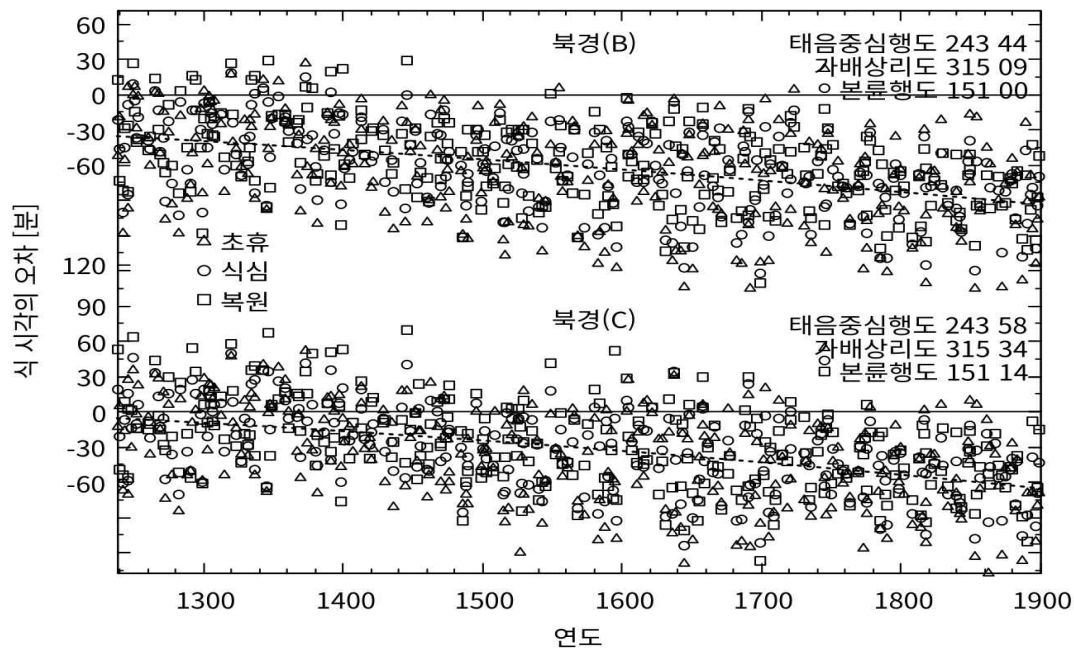


그림 7. 『칠정산 외편』의 일식 시각의 오차 분포 (북경 기준)



남경이다. 한편 외편법을 북경에서 사용할 경우 남경 기준의 식 시각과는 평균적으로 10분 가량의 편차가 나타난다.

5) 외편법이 내편법보다 얼마나 더 정확하게 추보했을까?

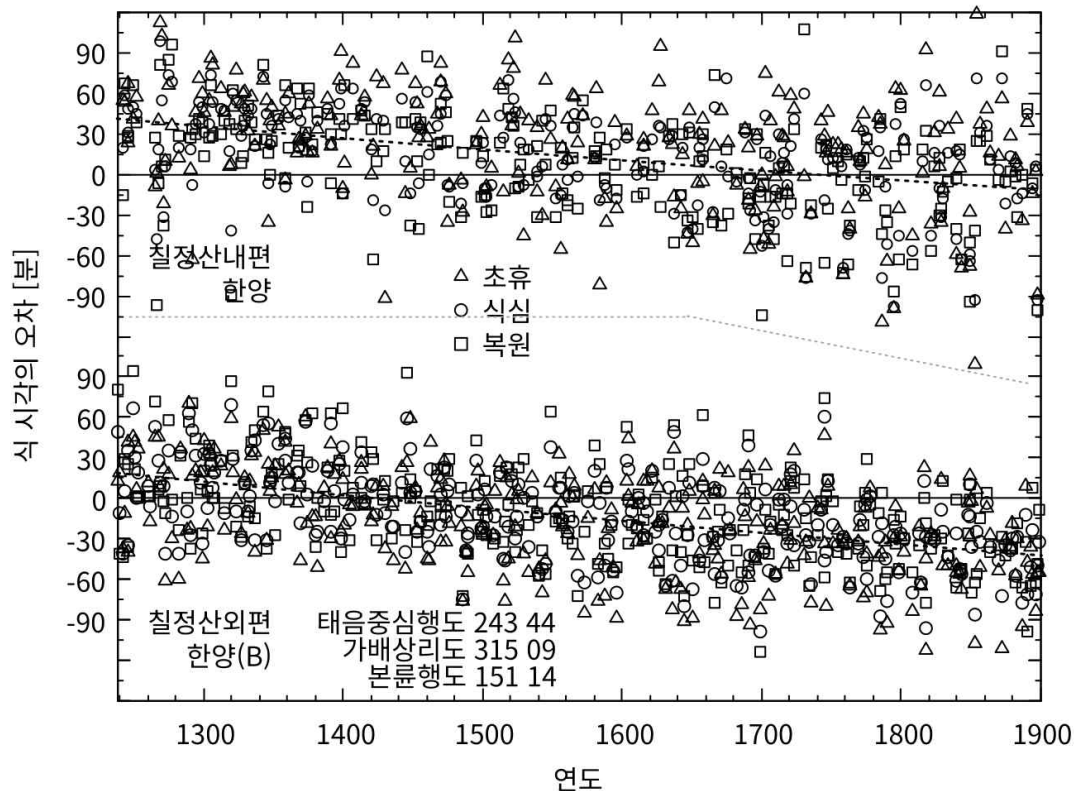
서론에서 짚어본 바와 같이, 일식 예보에서 외편법이 다른 어느 역법보다 더 정확했다는 믿음은 안영숙(2007)의 연구를 통해 한층 강화되었다. 지금까지 학계에 보고된 외편법의 일식 추보 사례 중 초휴에서 복원까지의 식 시각과 식분이 모두 포함된 예는 『가령』에 수록된 정묘년(1447) 일식 하나뿐이다. 안영숙은 바로 이 유일한 사례를 근거로 조선 초기에는 외편법의 일식 추보가 3분여 이내의 범위에서 잘 들어맞았다고 평가했다.⁶³ 그러나 앞 절에서 살펴본 것처럼 세종 시대에도 외편법의 식 시각의 오차는 상당히 넓은 범위에 걸쳐 있었다. 안영숙이 근거로 삼은 또 다른 예는 외편법의 일식 추보가 다른 역법에 비해 더 정확했다는 역관의 보고 내용을 언급한 『실록』의 기록이다. 그러나 앞서 살펴보았듯이 『실록』이 전하는 외편법의 추보 결과는 신빙성이 크게 떨어진다고[표 3> 참조].

앞 절에서 논의한 바를 정리하면, 외편법의 일식 예보는 세종 시대에 가장 정확했으며, 그 후로는 정확도가 꾸준히 떨어졌다. 이것은 어디까지나 평균적인 정확도를 기준으로 살펴보았을 때의 경향이다. 전반적으로 외편법의 식 시각의 오차는 상당히 넓은 범위에 흩어져 있다[표 4> 및 그림 5> 참조]. 칠정산이 편찬된 세종 시대에 국한하더라도 그 범위는 상당히 넓다.

세종 시대에 한양에서 관측 가능한 일식은 총 12회 발생했다. 『실록』이 전하는 외편법의 성공 사례를 분석하기 전에, 세종 27년(1445) 음력 4월에 일어난 일식을 통해 외편법의 일식 계산이 안고 있는 구조적 문제점을 살펴보자. 이 일식의 식심 시각 오차는 +59분으로 세종 시대에 일어난 일식 중에서 오차가 가장 크다. 외편법에서 일식의 식심 시각은 합삭 시각에 시차를 보정함으로써 결정되는데, 세종 27년 일식의 경우 합삭 시각에서 이미 +33분이나 어긋나 버렸다[표 4> 참조]. 외편법의 예보 시각에서 33분이나 지난 후 해와 달이 정삭의 위치에 도달한 것이다. 외편법에 의하면, 합삭 시각은 11시 28분이고, 태양의 경도는 금우₁궁(황소자리) 25도이다. 경위시 가감차 입성에서 금우₁궁은 왼쪽 7궁

⁶³ 안영숙, 앞 책, 228.

그림 8. 『철정산 내외편』의 일식 시각의 오차 분포 (한양 기준)



(左七宮)에 속한다. 이 구간에서 가로축, 세로축 방향으로 비례 보간을 하면, 시차(時差)는 흑(黑) 10분, 즉 -10분으로 산출된다. 따라서 식심 시각은 11시 18분이 되어, 시차 보정을 하지 않은 것보다 못한 결과가 초래된다.

이제 합삭 시각이 1각 이내로 상당히 정확하게 예측되었다고 가정하고 그 결과가 어떻게 달라지는지 살펴보자. 합삭 시각이 불과 +10분의 오차로 11시 51분으로 예측되었다면, 시차는 +12분이 될 것이고, 최종적으로 식심 시각은 12시 03분이 되어 오차가 +14분으로 크게 줄어든다. 이 가상의 예에서 알 수 있듯이 합삭 시각의 오차가 20~30분 정도만 커져도 식심 시각은 한 시간 이상 어긋날 수 있다. 따라서 세종 27년 음력 4월과 같은 상황에서는 식심 시각을 1각 이내로 정확하게 예측하는 것은 원리적으로 불가능했다고 봐야 할 것이다.

<그림 8>은 조선 시대 전 기간에 걸쳐 한양에서 실현된 일식의 식 시각을 철정산 내외편으로 추보한 결과를 비교한 것이다. 그림에 잘 나타나 있듯이, 조선 초기라고 해서 외편법의 일식 추보가 항상 잘 맞았던 것은 아니다. 1400년대에 도 외편법의 식 시각 오차는, 초휴 -76분에서 +60분 사이, 식심 -75분에서 +59

분 사이, 복원 -72분에서 +93분 사이로 상당히 넓게 흩어져 있었다. 시현력 도입 시기인 1600년대에 이르면, 초휴 -93분에서 +37분, 식심 -98분에서 +50분, 복원 -113분에서 +62분 사이로, 오차의 분포 범위가 더 넓어지고 예보 시각이 점점 더 늦어지는 경향을 보인다. 다만 『칠정산 내외편』의 편찬 전후 수십 년 동안에는 “평균적으로” 외편법이 내편법에 비해 더 정확했다.

그러면 『실록』이 전하는 외편법의 예측 사례는 어떻게 이해해야 할까? 가장 단순한 설명은 외편법의 예보가 더 잘 맞았을 때의 상황을 선별적으로 기록했다는 것이다. 안영숙이 분석한 외편법의 후보값 중에는 당시 역관들이 계산했다고 보기 어려운 것도 있다. 예를 들어, 성종 4년(1473)의 일식은 초휴 시각이 『실록』에 미정 4각, 즉 14시 59분으로 기록되어 있다(이하 모든 시각은 한양의 시태양시이다). 안영숙은 이 값을 외편법에 의한 계산값으로 간주하고, 외편법의 초휴 시각의 오차가 +17분(안영숙의 논문에서는 -17분으로, 본 논문의 오차와 부호가 반대이다)이라고 단정했다. 그러나 실제로 계산해 보면, 외편법의 초휴 시각은 15시 50분이고, 현대 천체력(DE431)을 이용하여 구한 시각은 15시 18분이다. 따라서 성종 4년 일식의 오차는 초휴 -32분, 식심 -14분, 복원 -6분이다.

외편법으로 후보했을 때 성종 4년 일식의 식분은 0.54이다. 식분이 이 정도인 일식은 초휴에서 복원까지 계산상으로 대략 두 시간 걸린다. 초휴 시각에 대한 안영숙의 추정치가 정확하다면, 이 일식은 17시경(식분이 0.5대 중반인 경우)에서 17시 30분경(식분이 0.6대 중반인 경우)에 복원되어야 한다. 그렇게 되면, 복원 시각의 오차가 작게는 +20분에서 크게는 +50분에 육박하게 되어 외편법의 계산이 그다지 정확하지 않았다는 얘기가 된다. 따라서 성종 4년의 일식 기록은 외편법의 예보 성공 사례가 아닐 가능성이 높다.⁶⁴

인조 24년(1647) 음력 12월의 일식은 『실록』에 ‘일식기(日食旣)’로 기록되어 있다. 그런데 이 일식은 한양에서는 식의 진행 과정을 전혀 볼 수 없는 지하식(地下食)이었다. 이 일식은 외편법의 예보가 부분적으로 적중한 사례에 속한다. 그 근거는 다음과 같다. 우선 내편법에서는 식분이 2.8분(0.28)로 상당히 작으므로, 이 일식은 일식기에 해당되지 않는다. 이와 대조적으로 외편법에서는 이

⁶⁴ 안영숙(200, 2005, 2007)이 무엇을 근거로 성종 4년의 일식 시각을 외편법에 의한 계산값이라고 보았는지 알 수 없다. 외편법의 일식 계산법에 관한 안영숙의 연구에서 하나 아쉬운 점은 사료에 대한 비판적 검토가 충분히 이루어지지 않았다는 것이다.

일식이 일출 직후에 종료(일출 후 38분간 관측 가능)되는 것으로 예측되며, 식분 또한 8.5분(0.85)으로 일식기의 기준을 충족하고도 남는다[표 2 및 표 3 참조].⁶⁵ 식 시각의 예측 정확도를 기준으로 본다면, 당시 역관의 추보가 40분가량 어긋났다고 볼 수 있다. 현대 천체력(DE431)으로 계산해 보면, 이 일식의 식분은 0.85이다.⁶⁶ 다음 절에서 살펴보겠지만, 단순히 식의 유무를 판정하는 데 있어서 외편법의 예보 적중률은 상당히 높았다.

<표 6>은 1301년부터 1900년까지 한양과 남경에서 실현된 일식을 100년 간격으로 묶어서 식 시각의 RMS 오차를 계산한 결과이다. 남경에서의 식 시각을 구할 때에는 태음 입성으로부터 구한 보정값(<표 1>의 보정값 C)를 적용하였다. 오차의 RMS를 나타내는 열(B, C, A)에서 음영으로 표시된 부분은 오차가 가장 작게 나타나는 시기에 해당한다. 이렇게 시기별로 평균 오차의 분포를 살펴보기 전까지는, <표 1>의 보정값 C를 적용해 남경에서의 식 시각을 추보하면 한양에서의 식 시각보다 월등히 정확한 결과가 나오리라 기대했다. 즉 『외편』에 수록된 주야시 궁도분 입성으로 연중 일출입 시각을 계산한 결과가 한양보다는 남경에서 훨씬 더 잘 맞았기 때문에, 일식의 식 시각 또한 남경에서 훨씬 더 정확할 것으로 예상했던 것이다. 그러나 <표 6>의 결과는 예상했던 것과는 전혀 판판이다. 14세기부터 19세기까지 한양과 남경에서 식심 시각 오차의 RMS는 기껏해야 2분밖에 차이가 나지 않는다.

본 논문에 수록된 여러 가지 분석 자료를 근거로 판단하건대 『외편』의 경위시 가감차 입성을 한양의 위도에 맞게 고친다고 해서 일식 예보의 정확도가 획기적으로 향상되지는 않는다.

더욱 흥미로운 점은 일식 추보에 관한 한 외편법이 내편법보다 항상 절대적인 우위에 있었던 것은 아니라는 사실이다. <그림 8>에 잘 나타나 있듯이, 전반적으로 내편법에 비해 외편법의 오차가 더 좁은 범위에 몰려 있기는 하나 오차의 평균값은 대동소이하다[<표 6> 참조]. 외편법으로 추보하더라도 합삭 시각

65 칠정산 내외편에는 일식기(日食既)가 정의되어 있지 않다. 현대적인 일식 계산을 통해 조선 시대의 일식기 기록을 검증해 보면, 당시 역관들은 식분이 0.8보다 큰 경우를 일식기로 인식하고 있었다는 사실을 확인할 수 있다. 안상현, “고대 역법에 나오는 日食既의 의미”, 『천문학논총』 23:2 (2008), 69-70 참조.

66 지평선 아래가 투명하다는 가정하에, 한양의 관측자가 보았을 때 태양의 지름이 85% 가려진다는 의미이다. 물론 지평선 아래에서의 일식이므로, 이와 같은 계산 결과는 현실에서는 무의미하다.

표 6. 『칠정산 내외편』의 방법으로 추보한 일식 시각의 RMS 오차. 한양(B)에 대해서는 『외편』의 보정값, 남경(C)에 대해서는 입성을 이용해 산정한 이론적인 보정값을 적용하였다.

B, C, A: 음영으로 표시된 부분은 오차가 최소인 시기를 나타낸다.

B-C: 부호가 (-)이면 한양에서의 오차가 더 작다는 것을 의미하고, (+)이면 그 반대이다.

B-A: 부호가 (-)이면 외편법의 오차가 더 작다는 것을 의미하고, (+)이면 그 반대이다. 음영으로 표시된 부분은 외편법이 내편법보다 오차가 더 작은 경우이다.

	기간 (년)	오차의 RMS (분)			편차 (분)	
		외편법		내편법	B-C	B-A
		한양 (B)	남경 (C)	한양 (A)		
초휴	1238 - 1300	36.0	31.4	53.6	+4.6	-17.6
	1301 - 1400	30.1	25.8	48.9	+3.7	-18.8
	1401 - 1500	30.0	31.0	49.0	-1.0	-19.0
	1501 - 1600	39.5	44.4	45.9	-4.9	-6.4
	1601 - 1700	44.3	49.2	40.7	-4.9	+3.6
	1701 - 1800	43.3	48.3	45.9	-5.0	-2.6
	1801 - 1900	53.2	60.8	52.1	-7.6	+1.1
	1238 - 1900	40.5	43.7	47.8	-3.2	-7.3
식심	1238 - 1300	33.1	27.5	45.7	+5.6	-12.6
	1301 - 1400	30.3	24.6	41.9	+5.7	-11.6
	1401 - 1500	24.8	25.7	37.5	-0.9	-12.7
	1501 - 1600	32.2	35.6	28.4	-3.4	+3.8
	1601 - 1700	38.7	42.8	29.4	-4.1	+9.3
	1701 - 1800	37.2	44.2	38.0	-7.0	-0.8
	1801 - 1900	45.8	53.6	42.9	-7.8	+2.9
	1238 - 1900	35.3	38.2	37.8	-2.9	-2.5
복원	1238 - 1300	37.2	30.8	49.1	+6.4	-11.9
	1301 - 1400	37.2	30.9	41.2	+6.3	-4.0
	1401 - 1500	28.3	28.4	38.3	-0.1	0.0
	1501 - 1600	32.6	34.1	28.1	-1.5	+4.5
	1601 - 1700	41.1	42.6	34.7	-1.5	+6.4
	1701 - 1800	35.6	43.8	40.0	-8.2	-4.4
	1801 - 1900	44.8	50.9	40.6	-6.1	+4.2
	1238 - 1900	37.1	38.5	38.8	-1.4	+1.1

에서 크게 어긋나는 경우가 빈번했는데, 이 문제를 해결하지 않은 채 보정용 수표(경위시 가감차 입성) 하나만으로 식 시각을 정확하게 산출하는 데는 한계가 있었다.

6) 『칠정산 외편』의 일식 예보 적중률

『칠정산 내외편』의 일식 예보의 정확도를 분석한 선행 연구들의 공통점 중의 하나는 예보의 적중률에 대해 아무런 언급이 없다는 것이다. 때로는 예보의 적중률이 식 시각의 평균 오차보다 더 중요할 수도 있다. 통상적으로 역법의 일식 예측의 정확도를 논할 때 식 시각의 평균 오차에만 집중하는 경향이 있는데, 본 연구에서는 예보의 적중률에도 관심을 기울였다.

전통 시대의 역법에서 일식 예보가 적중했다는 말은 다음의 넷 중 하나 또는 그 이상의 경우에 해당한다: 1) 일식이 예고된 날에 실제로 식이 일어났다; 2) 예보된 시각을 기준으로 일정한 오차 범위 내에서 일식이 일어났다; 3) 일식이 일출 또는 일입 때 진행될 것이라는 것을 미리 알았다; 4) 일식이 일출 직전에 끝나거나 일입 직후에 시작하는 경우에도 예보가 가능했고, 때로는 지구 반대편에서 일어나는 일식도 예측할 수 있었다.

<표 7>은 1238년부터 1900년까지 지구상에서 일어난 모든 일식에 대하여 외편법의 일식 예보의 적중률을 집계한 결과이다. 기준 위치는 한양이고, 태음 중심 행도, 가배 상리도, 본륜 행도의 보정값은 『외편』에 수록된 값을 적용하였다. 표에 기재된 적중률은 식심 시각의 오차만으로 결정되었고, 식분의 오차는 고려하지 않았다.

지구상에서 일식이 일어났으나 한양에서는 실현되지 않은 경우 외편법의 예보 적중률은 96.7%이다. 지하식으로 예보된 경우는 불식(不食)으로 간주하였다. 한양에서 식의 전 과정이 실현된 일식에 대한 적중률은, 외편법의 예보가 일출대식(日出帶食)과 일입대식(日入帶食)일 때 이를 적중한 것으로 간주하면 91.5%, 그렇지 않은 것으로 보면 84.6%이다. 일식이 지평선을 가로지르면서 진행되는 일출대식과 일입대식의 경우는 어떤 기준으로 적중률을 산정하느냐에 따라 그 값이 크게 차이가 난다. 어떤 일식이 대식(帶食)인지 아닌지만 판별할 경우 일출대식과 일입대식에 대한 적중률은 각각 83.9%와 91.9%로 비교적 높게 나타났다. 그러나 일출 또는 일입 전후의 식의 진행 상황을 정확하게 예측했을 때를 적중했다고 본다면, 그 적중률은 각각 48.4%와 54.1%로 다른 경우에 비해 상대적으로 낮게 나타난다. 적중률이 이렇게 낮은 것은 일식이 진행되는 시간대가 일출입 시각과 겹쳐야 하는 제약 조건 때문이다. 외편법의 식심 시각의 평균 오차가 1각보다 큰 데다 일출입 시각의 계산 기준점이 중국의 남경이라

표 7. 『칠정산 외편』의 일식 예보 적중률 (1238-1900년). 한양(B)에 대해서는 『외편』의 보정값, 남경(C)에 대해서는 입성을 이용해 산정한 이론적인 보정값을 적용하였다.

	구분	현대 방법 (DE431)			외편법의 적중률							
		진행 상황	한양	남경	식의 진행 유형	한양(B)		남경(C)				
			횟수	횟수		횟수	%	횟수	%			
관측 불가능 일식	불식	일출 한 시간 전 식 종료	1266	1278	불식	1225		1247				
					일출 전 지하식	4	97.6	8	98.4			
					일입 후 지하식	6		2				
					초휴-식심-복원	24	-	17	-			
		일입 한 시간 후 식 시작			일출-식심-복원	1		0	-			
					일출-복원	4	-	1	-			
					초휴-일입	1	-	2	-			
					초휴-식심-일입	1	-	1	-			
		일출 직전 식 종료	29	31	일출 전 지하식	9	69.0	12	51.6			
					불식	11		4				
일입 직후 식 시작	26	23	일출-식심-복원	0		1	-					
			일출-복원	9	-	14	-					
관측 불가능 합계		1321	1332	적중	1277	96.7	1294	97.1				
관측 가능 일식	전 과정 관측 가능	초휴-식심-복원	188	183	초휴-식심-복원	159		167				
					일출-식심-복원	6	84.6	2	91.3			
					초휴-일입	1	(91.5)	0	(97.8)			
					초휴-식심-일입	6		10				
					불식	16	-	4	-			
	소계	188	183		159	"	167	"				
					(172)		(179)					
				일출 대식	일출-식심-복원	13	12	일출-식심-복원	4	30.8	9	75.0
								초휴-식심-복원	3	(84.6)	3	(100.0)
								일출-복원	4		0	
	불식	2	-					0	-			
	일출-복원	11	61.1					7	58.3			
	일출-식심-복원	18	12		일출-식심-복원	4	(83.3)	5	(100.0)			
					불식	3	-	0	-			
					소계	31	24		15	48.4	16	66.7
									(26)	(83.9)	(24)	(100.0)
								일입 대식	초휴-일입	21	13	초휴-일입
	초휴-식심-일입	3	(71.4)	2								(53.8)
	일입 후 지하식	4	-	4								-
	불식	2	-	2	-							
	초휴-식심-일입	16	24		초휴-식심-일입	8	50.0					10
초휴-식심-복원					2	(93.8)	4	(95.8)				
초휴-일입					5		9					
불식					1	-	1	-				
소계					37	37		20	54.1	15	40.5	
		(30)	(91.9)	(34)			(91.9)					
관측 가능 합계		256	244		194	75.8	198	81.1				
					(232)	(90.6)	(237)	(97.1)				
모든 일식 합계		1577	1576		1471	93.3	1492	94.7				
					(1509)	(95.7)	(1531)	(97.1)				

는 점을 생각하면 대식의 예보 적중률은 낮을 수밖에 없다.

종합적으로 평가하면, 식 시각의 정확도와는 무관하게 식의 유무를 예측하는데 있어서 외편법의 적중률은 대략 93%에서 96% 사이에 있으며, 이는 수시력 계열 역법의 적중률과 비교하면 상당히 높은 편이다.

그런데 『외편』의 경위시 가감차 입성과 주야시 궁도분 입성의 기준 위도가 북위 32도 근처라는 사실을 감안하면, 외편법을 남경에서 사용했을 때 일식 예보의 적중률이 조금 더 높아질 것으로 예상할 수 있다. 결과만 요약하면 다음과 같다. 남경에 대하여 태음 중심 행도 보정값으로 243도 58분을 적용하여 계산하면, 외편법의 일식 예보의 적중률이 근소하게 향상된다. 초휴에서 복원에 이르기까지 식의 전 과정을 볼 수 있었던 일식에 대해서는 적중률이 6%p가량 향상된다. 그러나 한양 기준의 적중률에 비해 월등히 높지는 않다.

식의 유무를 예측하는 데 있어서는 한양이든 남경이든 태양 및 태음 행도 보정값을 제대로 적용하기만 하면 대동소이한 결과가 나온다. 일식 예보의 적중률을 비교해 보더라도, 남경 기준의 수표를 한양의 위도에 맞게 교정하지 않은 채 그대로 사용해도 예보의 정확도는 크게 달라지지 않는다는 것을 알 수 있다. 이것은 외편법의 식 시각의 평균 오차가 한양과 남경에서 크게 다르지 않다는 사실과도 일맥상통한다.⁶⁷

6. 토의 및 결론

본 연구에서는 『칠정산 외편』의 일식 예보 정확도를 체계적으로 분석하고, 이를 현대 천문학적 계산과 비교하여 그 한계를 평가하였다. 『외편』은 세종 대에 편찬되어 수시력 계열 역법의 교식 계산을 보조하는 도구로 사용되었다. 그러나 합삭 시각을 매년 1각 이내로 정확하게 예측하기는 불가능했고, 식 시각을 보정하는 데 사용된 수표 또한 부정확했기 때문에, 애초에 의도한 정확도를 달성하는 데 한계가 있었다. 다만, 태음 중심 행도 보정값을 비롯해 일식 추보에 영향을 주는 보정값들을 이론값보다 조금씩 작게 조정하여 한양과 남경의 정도차에

67 여기서 중요한 전제는 남경의 일식을 예보할 때 회회력법의 입성을 이용하여 산정된 이론적 보정값을 적용해야 한다는 점이다. 『외편』 또는 내각문고 소장본 『회회력법』에 주어진 보정값을 적용하면, 리량 등(2011)의 논문에 나타난 바와 같이, 15세기 중반 남경의 일식을 예측할 때 식 시각의 평균 오차가 약 40분으로 매우 크게 발생한다.

다른 평균 황경의 차이를 보정한 결과, 남경 기준의 회회력법의 예보 정확도를 거의 그대로 유지할 수 있었다.

컴퓨터를 이용하여 외편법으로 세종 대 한양에서 일어난 일식을 예측한 결과, 예보 시각에서 수십 분의 오차가 발생할 때가 빈번하게 확인되었다. 15세기의 경우 식 시각의 산술 평균 오차는 약 -4분으로,⁶⁸ 예보의 정확도가 상당히 높은 것처럼 보이나, 개별 오차의 분포 범위는 -52분에서 +94분으로 매우 넓게 나타났다. 15세기 한양에서 일어난 일식을 예보했을 때, 식 시각 오차의 RMS는 초휴 30.0분, 식심 24.8분, 복원 28.3분으로, 기존의 연구를 통해 알려진 것에 비해 그다지 정확하지 않은 결과가 나왔다. 『외편』에 수록된 보정값이 아닌 이론값을 적용하여 남경의 일식을 예보했을 때에도 유사한 수준의 오차가 발생했다. 명역 회회력법이 편찬된 14세기 남경의 일식을 예보했을 때 초휴 25.8분, 식심 24.6분, 복원 28.3분으로, 정확도 면에서 한양 기준의 예보와 크게 다르지 않은 결과가 나왔다. 이는 회회력법의 일식 예보 방식에 근본적인 한계가 있음을 의미한다.

외편법의 일식 예보가 다른 역법들에 비해 상대적으로 더 정확했던 것은 사실이다. 외편법에 따른 컴퓨터 계산값과 비교했을 때 『실록』에 기록된 외편법의 예보값은 작게는 -4분에서 크게는 +8분의 오차를 보인다. 그러나 조선 시대 한양에서 일어났던 모든 일식에 대해 식 시각의 오차를 계산해 보면, 『실록』에 기록된 예보값들은 예외적인 사례에 해당한다는 것을 알 수 있다. 결국 『실록』이 전하는 외편법의 일식 예보 사례는 당시 역법의 한계와 계산 방법의 부정확성을 반영함과 동시에 외편법에 대한 과장된 평가의 증거로 남게 되었다.

외편법의 예보 정확도는 조선 초기의 다른 역법에 비해 상대적으로 높았으나, 회회력법의 근본적인 한계는 당시 천문학적 지식으로는 극복할 수 없었다. 다만 당시의 역법가들이 역원의 차이에 따른 보정값을 한양과 남경의 경도차에 맞추어 미세 조정함으로써, 조선 초기에 한하여 수시력 계열 역법을 보조하는 도구로서 일정 부분 활용될 수 있었다.

일본 내각문고 소장본 『회회력법』과 『외편』에 기록된 칠정 행도 보정값에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다. 이 문제에 대해서는 필자가 2009년 연구에서 제시한 관점과 한영호(2015)의 관점이 상이하다. 전자는 『외편』의 편찬자

68 일식이 예측된 시각보다 4분 늦게 일어난다는 것을 의미한다.

들이 보정값을 미세 조정하였다고 주장한 반면, 후자는 『외편』의 보정값이 역원 이동에 따른 보정값에 명대 회회력법에 수록된 보정치를 더한 결과라고 주장한다. 이 두 가지 관점은 보정값 조정 방식과 그 이론적 배경에 대한 근본적인 차이를 반영하고 있다. 필자가 줄고(2009)에서 밝힌 관점에 따르면, 『외편』의 칠정 행도 보정값은 한양의 천문 현상을 정확하게 추보하기 위해 위해 특별히 조정된 것으로, 당시의 지리적, 천문학적 상황에 부합하는 방식으로 계산된 것임에 틀림없다. 그러나 한영호의 관점에서는 『외편』에서 한양의 정도에 맞게 조정된 것은 없으며, 『외편』의 보정값은 『회회력법』의 기본 수치를 근본적인 수준에서 계승한 것에 불과하다.

이러한 상반된 주장은 회회력법의 보정값 조정 방식에 대해 보다 정교한 분석과 검토가 필요함을 시사한다. 따라서 향후 연구에서는 회회력 계열 역법에서 사용된 수표의 연원을 추적하고, 회회력법의 역산의 기준점, 특히 지리적 정도가 어떻게 설정되었는지에 대해 깊이 고찰할 필요가 있다. 또한 회회력법의 여러 판본들이 실제로 사용된 지역의 정치적, 문화적 환경이 역법 체계의 확립에 미친 영향을 구체적으로 파악하는 것이 중요하다. 이러한 분석을 통해 회회력법의 편찬 경위와 조선에 도입되기까지의 과정을 보다 명확히 이해하고, 보정값 조정에 관한 기존의 해석을 보다 구체적이고 실증적으로 검토할 수 있을 것이다.

(투고: 2024년 11월 15일, 심사 완료: 2024년 12월 5일, 게재 확정: 2024년 12월 5일)

Accuracy of Solar Eclipse Predictions in the *Chiljeongsan Oepyeon*

KIM Dongbin (Independent Scholar)

Abstract. This study systematically analyzed the accuracy of solar eclipse predictions in the *Chiljeongsan Oepyeon* (Supplementary Treatise of the Seven Luminaries; hereafter referred to as *Oepyeon*), which was largely reconstructed based on the system of the Huihui Calendar. Compiled during King Sejong's reign, the *Oepyeon* was used to assist with eclipse calculations in the Shoushi calendar series. However, because the astronomical tables of the Huihui Calendar were used without adjustment for the latitude of Hanyang, the intended precision was not fully achieved. Despite this, by adjusting the correction value for the lunar mean longitude, the *Oepyeon* was able to maintain accuracy nearly identical to that observed in Nanjing. Although the *Oepyeon* provided more accurate predictions compared to other methods at the time, the limitations of the Huihui Calendar could not be overcome with the available astronomical knowledge. Predictions still showed errors of up to several tens of minutes, even after adjustments were made to the lunar mean longitude. This suggests that the *Oepyeon*'s method had inherent limitations that required further refinement. The *Annals of the Joseon Dynasty* record the *Oepyeon* as more accurate than other methods, but given the errors observed in this study, these records may reflect exaggerated assessments based on miscalculations. The relative accuracy of the *Oepyeon* could also be attributed to the much poorer predictions of alternative methods. While the *Oepyeon* provided some degree of accuracy, its limitations highlight the scientific challenges faced by Joseon astronomers. This study emphasizes the importance of further research into traditional astronomical methods to better understand their historical and scientific significance.

Keyword. *Chiljeongsan Oepyeon*, Chinese astronomical calendar, *Huihui Calendar*, solar eclipse prediction