

## 비구면 평가를 위한 자동 무수차점 방식 널 렌즈의 측정 정밀도 연구

### The Study of Measurement Accuracy using Autostigmatic Type Null Lens for the Evaluation Aspherical Surface

이영훈, 임천석, 이재협\*, 양호순\*, 이윤우\*, 김건희\*\*  
 한남대학교, \*한국표준과학연구원, \*\*한국기초과학지원연구원  
 e-mail : [lastwings@empal.com](mailto:lastwings@empal.com)

초정밀 비구면 거울을 제작하기 위해서는 비구면 형상의 실시간 측정이 가능한 측정 장치가 반드시 필요하다. 다행스럽게도 비구면 형상 측정에 관한 수많은 연구 결과가 이미 나와 있고 또 계속해서 새로운 연구가 진행되고 있다. 현재까지의 수많은 비구면 형상 측정 방법들 중 으뜸으로 손꼽는 측정법은 당연히 간섭계와 널 옵틱스[Null lens, CGH(Computer Generated Hologram)]를 이용한 널 테스트라고 말할 수 있다. 널 테스트의 경우 측정 정밀도가 상대적으로 월등하며 측정시 발생하는 시험비구면 표면 외상 발생률이 비교적 낮고 단번의 측정으로 시험 비구면 전면을 측정할 수 있어 측정 오차가 적다는 점을 이유로 들 수 있다. 그럼에도 불구하고 널 테스트의 측정 신뢰도는 절대적이지 못하다. 원인으로서는 널 옵틱스를 구성하고 있는 소자의 두께, 굴절률, 곡률반경, 면 형상, 소자간 위치 등에서 발생하는 오차가 널 테스트에 미치는 영향 때문이다. 이와 같은 문제를 해결할 목적으로 환형 평면 기준거울만을 이용한 자동시준방식의 측정 결과를 참고로 사용하거나 또는 독립적인 여러 방법의 널 테스트 측정 결과를 상호 비교하여 널 테스트의 신뢰성을 검증하는 것이 현재까지의 추세였다. 그러나 자동시준방식의 경우 측정 비구면의 구경 크기 제한이 있고 포물면 이외의 다른 비구면 측정이 불가능하다는 것을 단점으로 지적할 수 있다. 서로 다른 널 테스트의 측정 결과를 상호 비교하는 방법의 경우 둘 중 어느 한 가지라도 독립적인 측정 정밀도의 한계를 명확하게 제시할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 대형 비구면 평가를 위해 자동무수차점(autostigmatic) 방식의 널 렌즈를 설계 하였고 공차분석 기법에 근거한 수치적인 접근을 통하여 비구면 형상 측정의 신뢰도를 명쾌하게 제시할 수 있었다.

우선 자동무수차점(autostigmatic) 방식의 널 테스트에 전체적인 개략 도는 그림 1과 같다. 그림 1에서 비구면경은 곡률반경  $-1191.95 \text{ mm}$ , 직경  $300 \text{ mm}$ , 비구면 계수(k)  $-1.1335$ 를 갖는 쌍곡면이다. 설계된 널 렌즈에 의한 파면수차는  $\text{RMS } 0.0007 \lambda$  이다. 표 1~2 는 널 렌즈의 제작 오차와 보상자 사용 전 후의 RMS 파면수차를 보여주고 있다. 결과적으로 시험 비구면의 위치는 널 렌즈의 제작오차를 보상할 수 있다. 표 3은 경통과 렌즈 제작오차에 의해 발생할 수 있는 기울기와 편심 오차에 대한 보상자(시험 비구면의 편심과 기울기) 사용 후 RMS 파면수차이다. 표 3에서 경통과 렌즈의 제작오차(편심과 기울기)에 의한 RMS 파면수차는 기준치  $0.03 \lambda$  의  $1/10$ 에 해당하는 적은 값이므로 무시할 수 있다. 표 4는 경통의 제작오차(경통길이 : 널 렌즈간 거리오차)에 의한 보상자(시험 비구면 위치) 사용 후 P-V 파면수차이다. 표 4의 결과로 널 렌즈간 거리오차  $\pm 0.04 \text{ mm}$  안에서 널 테스트는 널 기능을 수행할 수 있다. 결론적으로 제작오차가 허용 정도를 만족할 경우 이상적인 비구면 파는 단지 그 위치만을 이동한다.

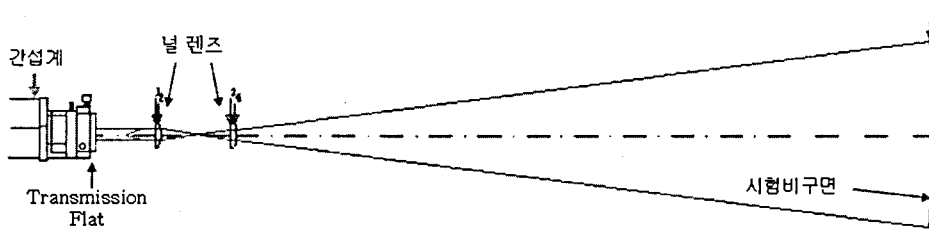


그림 1. 자동무수차점(autostigmatic) 방식의 넬 테스트 개략도

| 단품공차         | 넬 렌즈 1 |      | 넬 렌즈 2 |      | RMS 파면수차                       | 단품공차         | 넬 렌즈 1 |      | 넬 렌즈 2 |      | RMS 파면수차                       |
|--------------|--------|------|--------|------|--------------------------------|--------------|--------|------|--------|------|--------------------------------|
|              | 앞면(평면) | 뒷면   | 앞면(평면) | 뒷면   |                                |              | 앞면(평면) | 뒷면   |        |      |                                |
| 곡률반경(fringe) | ±0.2   | ±1.0 | ±0.2   | ±1.0 | 보상<br>전 0.7101 λ<br>후 0.0181 λ | 곡률반경(fringe) | ±0.2   | ±1.0 | ±0.2   | ±1.0 | 보상<br>전 0.7101 λ<br>후 0.0183 λ |
| 굴절률          | ±0.001 |      | ±0.001 |      |                                | 굴절률          | ±0.001 |      | ±0.001 |      |                                |
| 두께(mm)       | ±0.01  |      | ±0.01  |      |                                | 두께(mm)       | ±0.01  |      | ±0.01  |      |                                |

표 1. 넬 렌즈의 제작오차에 의한 RMS 파면 수차.

보상자 : 비구면간 거리(T2).  
보상 정도: ±0.1143 mm.

표 2. 넬 렌즈의 제작오차에 의한 RMS 파면 수차.

보상자 : 비구면의 곡률반경(R5).  
보상 정도 : ±0.1138 mm.

| 편심과 기울기 오차   | RMS 파면수차 |
|--|----------|
| 기울기(R2) / 편심(R2) / 기울기(R4)<br>±30초 / ±0.005 mm / ±30초  | 0.003λ   |
| 편심(R4) / 기울기(2) / 편심(2)<br>±0.005 mm / ±10 분 / ±0.2 mm |          |

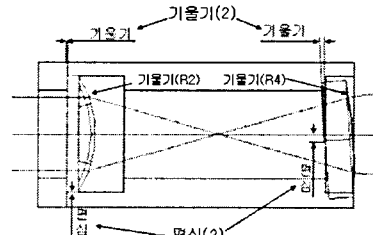


표 3. 경통과 렌즈 제작오차에 의한 RMS 파면 수차. 보상자 : 시험 비구면의 편심과 기울기.

렌즈 제작오차 : 기울기(R2) / 기울기(R4) / 편심(R2) / 기울기(R4). 경통 제작오차 : 기울기(2) / 편심(2).

| ΔT1   | P-V (λ) |
|-------|---------|
| -0.05 | 0.107   |
| -0.04 | 0.083   |
| -0.03 | 0.059   |
| -0.02 | 0.035   |
| -0.01 | 0.013   |
| 0     | 0.015   |
| 0.01  | 0.039   |
| 0.02  | 0.064   |
| 0.03  | 0.088   |
| 0.04  | 0.099   |
| 0.05  | 0.121   |

표 4. 경통오차에 의한 P-V 파면수차.

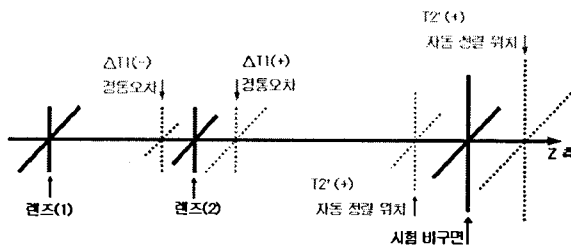


그림 2. 경통오차에 따른 정렬구경의 자동 정렬 위치.

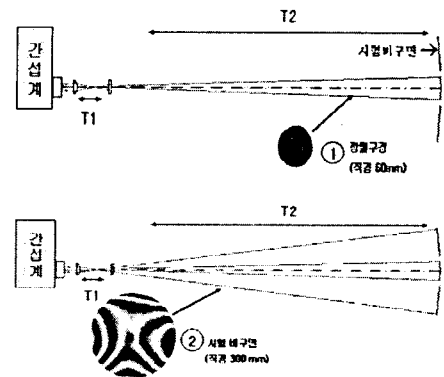


그림 3. 정렬구경을 이용한 시험 비구면 측정 평가.

참고문헌

- 1 D. Malacara, *Optical Shop Testing*, 2nd Ed., (Jhon Wiley and Sons, New York, 1992).
- 2 김연수, 김병윤, 이윤우, "쌍곡면 측정 null 렌즈 설계," 한국광학회지, 제 12권 5호, pp. 352-355 2001.

