항공우주산업기술동향 4권1호 (2006) pp. 61~67
기술동향
www.kari.re.kr
/lib/index.html
에서 보실 수 있습니다.

비접촉식 3차원 정밀 측정 기술 동향

글 / 윤 용 식 ysyoon@kari.re.kr
한국항공우주연구원 우주시험실 우주시험그룹

초 록

현대 산업이 고도화, 선진화됨에 따라 1.5 m 이상의 크기를 갖는 중·대형 시설 및 장비에 대한 설치 요구조건 및 운용상의 정밀도 유지가 더욱 중요해지고 있다. 이를 위하여 비접촉식 3차원 정밀 측정 장비인 데오드라이트 측정시스템, 사진 측정 시스템 및 레이저 측정 시스템 등의 사용이 점차 증가하고 있는 추세이다. 본 글에서는 이들 측정 장비의 측정 원리 및 적용 사례 등을 중심으로 최근의 정밀 측정 기술 동향에 대하여 기술하였다.

주제어: 3차원 측정 시스템, 데오도라이트 측정 시스템, 사진 측정 시스템, 레이저추적기, 레이저 스케닝 시스템

1. 서 론

현재, 국내 기초 산업 및 응용 산업에 있어서 설치 및 운용상 정밀성이 요구되는 시설이나 장비가 도입되고 운용되고 있다. 특히, 국내 산업의 정밀화·선진화 경향에 따라 내진 빌딩의 건설, 고속 철도 차량의 제작 및 운용, 인공 위성의 정밀 조립, 항공기의 조립 및 제작, 원자력발전소의 건설, 대형 선박의 탱크 부피 측정 및 대형 구조물 제작을 위한 좌표 측정(coordinate measurement)등에 정밀 측정이 요구되고 있다. 이때 요구되는 정밀도는 장비의 설계 사양이나 측정거리에 따라 달라질 수 있으나 약 1.5 m 이상의 크기를 가지는 측정 대상에 대하여 최대 50 μm까지 정밀 측정되어야 한다. 이러한 정밀 측정을 통하여 제품의 신뢰도는 물론이고, 생산성 향상 등에도 많은 도움이 된다.

현재 중·대형 구조물에 대한 측정을 위해 개발되어 운용되고 있는 정밀 측정 장비는 데오도라이트 측정 시스템(theodolite measurement system), 사진 측정 시스템(photogrammetry system), 레이저 추적기(laser tracker), 레이저 스케닝 시스템(laser scanning system) 등이 있다. 이들 측정 시스템은 각 측정 대상물의 특성에 따라 선택적으로 사용되고 있으며, 특정 목적을 위하여 시스템간의 조합을 통하여 운용되기도 한다.

상기 측정 시스템의 하드웨어 개발은 미국, 스위스, 캐나다 등 광학 기술이 발달한 국가에서 수행되고 있고, 프랑스, 영국, 호주 등에서는 시스템의 운용 소프트웨어 개발이나 시스템 응용 분야에서 많은 개발을 수행하고 있다. 그리고 중·대형 정밀 측정과 관련하여 미국에서 1998년부터 측정에 관련된 전문가 모임인 CMSC(coordinate measurement system committee)가 결성되어 매년 관련 논문 발표회를 개최하면서 상호간의 기술 교류 및 관심 사항에 대한

의견을 교환하고 있다.

본 글에서는 상기에 언급된 각 정밀 측정 시스템의 측정 원리와 국내·외에서의 적용 사례 및 측정 시스템의 응용 등을 고찰하고, 향후 측정 시스템에 대한 국내의 중·대형 정밀 측정분야에 대한 활성화 방안에 대하여 논하고자 한다.

2. 정밀 측정 시스템

2.1 데오도라이트 측정 시스템

데오도라이트(theodolite)는 수평 및 수직을 측정하는 측정 장비로서 일반적으로 토목공사에 사용하는 측량기로 알려져 있고 현재도 널리 사용되고 있다. 그러나 데오도라이트에 0.1초(degree)까지 측정이 가능한 인코더(encoder) 센서를 장착하여 측정거리가 0 ~ 100 m 이내에서 최고 0.05 mm의 정확도를 가지는 산업용 정밀 측정기로도 사용하고 있다. 이 시스템의 측정은 Fig. 1과 같이 2대 이상의 데오도라이트를 사용하여 측정대상물 위에 미리 설치된 표적(target)의 중심점을 조준하여 측정함으로써 측정점의 3차원 좌표 값을 구할 수 있다[1,2]. 즉 데오도라이트 사이의 거리 정보와 각 데오도라이트에서 표적에 대한 수평 및 수직 각을 측정함으로써 표적의 3차원 좌표 정보를 구할 수 있게 된다. 데오도라이트의 수를 많이 사용할수록 측정 정확도가 높아지며 현재 상용화된 측정 시스템에서는 최대 8대 까지 사용하여 측정할 수 있다. 이 시스템은 측정 대상물의 형상이 복잡하거나, 측정을 위해 접근하기 힘든 대형 구조물의 정밀 측정에 효과적인 시스템이다. 그러나 데오도라이트의 기준 설정, 온도 혹은 진동 등 외부 환경의 영향 및 측정하는 사람의 측정 숙련도에 따라 측정 정확도가 달라질 수 있다.

이 시스템을 이용하여 Fig. 2와 같이 위성체의 구조적 안정성 및 기계 조립을 검증할 수 있다[3]. 위성체는 발사체에 실려 우주 궤도에 진입하면서 구조적 충격을 받을 수 있고 우주 궤도에서 운용되는 경우에도 계획된 수명 기간 동안 구조적인 안정성을 유지하여야 하므로 지상에서 이에 대한 검증은 매우 중요한 요소이다. 항공우주연구원에서 개발하고 있는 다목적 실용위성의 경우 6각 형태의 구조에 3개의 평판을 조합한 구조로 되어 있고, 각 평판에 위성 탑재 장비를 장착하게 되어 있으며 위성체 외부에는 태양 전지판을 부착하게 되어 있다. 이러한 형상의 구조적 안정성 및 정밀 조립을 검증하기 위하여 데오도라이트 측정 시스템을 사용하여 각 평판에 탑재되는 장비가 설치 완료된 후 각 평판의 편평도 및 평판 간의 평행도를 측정하여 구조적인 안정성을 확인할 수 있다. 또한 태양 전지판이 설계 요구 정확도에 따라 설치되었는지도 검증할 수 있다

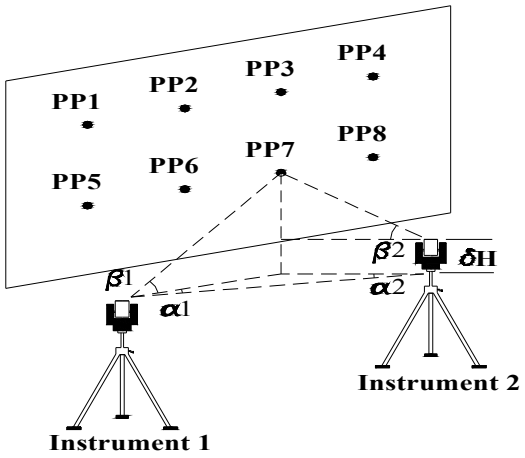


Fig. 1 Measurement Principle of Theodolite System

Fig. 2 3-D Measurement of Spacecraft Structure Model by Theodolite Measurement System

그리고, Fig. 3과 같이 최대 길이가 14.5m인 3단 로켓의 진직도 및 각 모듈 별 정렬을 측정 할 수 있다. 3 단 로켓의 경우 여러 개의 원통형 모듈이 결합되는 구조로 되어 있어, 각 모듈 별 조립 상태를 확인하여야 하고, 로켓의 정렬을 검증하여

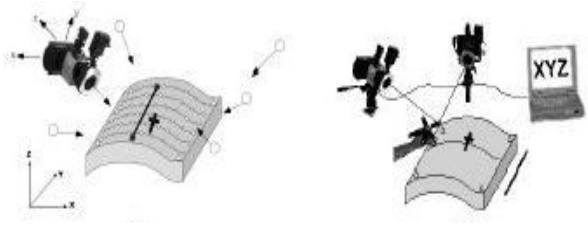
야 한다. 이를 위하여 데오도라이트 측정 시스템을 사용하여 요구되는 측정 정밀도를 만족하면서 측정할 수 있고, 특히 로켓 발사시 발사대와 로켓의 발사 각도의 측정에도 사용하여 발사체의 정확한 발사 각도를 유지시키도록 할 수 있다.

Fig. 3 Alignment Measurement for KSR-III

2.2 사진 측정 시스템

사진 측정 시스템은 고해상도의 반도체 영상 센서를 장착한 디지털 카메라와 데이터 처리 시스템으로 구성되어 있다. 이 시스템은 약 9 m의 거리에서 ±0.2 mm까지 측정할 수 있는 정확도를 가지고 역반사가 잘되는 2 개 이상의 표적을 이용하여 좌표를 측정할 수 있다. 일반적으로 접근하기 힘든 환경과 복잡한 형상으로 인해 많은 표적을 동시에 측정하는 경우에 사용한다. 현재 사용되고 있는 사진 측정 시스템은 Fig. 4(a), (b)와 같이 Off-Line 과 On-Line 2가지 방법이 있다. Off-Line의 경우는 사진 측정 시스템 1 대를 사용하여 사진 촬영 후 데이터 처리 시스템에서 데이터를 확인하는 것이고, On-line의 경우는 2 대의 디지털 사진기를 사진 촬영 시 직접 데이터 처리 시스템과 연결하여 실시간으로 측정된 데이터의 정보를 확인할 수 있는 시스템이다.

이 측정 시스템을 이용하여 Fig. 5와 같이 통신위성에 탑재되는 통신 위성용 안테나의 개발 시험을 수행할 수 있다. 통신 위성용 안테나는 우주궤도 상에서 운용되면서 우주 환경에 따라 안테나의 형상이 유지되어야 지상과의 통신 중계를 원활하게 수행할 수 있다. 이를 위하여 우주 환경을 모사하는 열진공 챔버에 설치하여 우주 환경에 따른 안테나의 변형성을 확인하여야 한다. 열진공 챔버에 사진을 촬영할 수 있는 홀을 만들어 열진공 시험이 수행되는 동안 사진 촬영을 하여 안테나의 변형 여부를 확인할 수 있다[4].



(a) Off-Line (b) On-Line

Fig. 4 Measurement Method of Photogrammetry

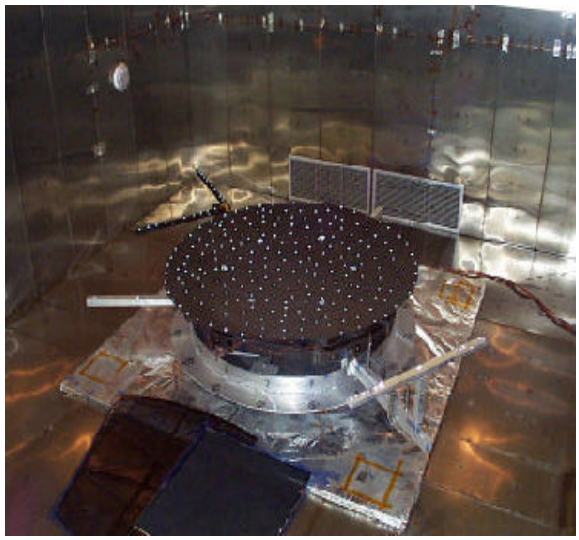
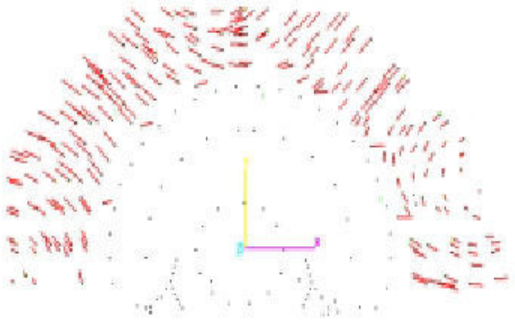


Fig. 5 3-D Measurement of S/C Reflector by using Photogrammetry

사진 측정 시스템은 사용의 간편성과 측정의 정확도로 인하여 적용범위가 넓다. 호주 멜버른대학 측정연구소에서는 이 시스템을 이용하여 세계 최대 규모 발전기의 고정자와 회전자간의 간섭을 Fig. 6 (a), (b)와 같이 측정하였고[5], 잠수함 건조시 어뢰의 발사 장치의 좌표 측정, 지뢰 폭발에 대한 장갑차의 변형 측정 등에도 적용하는 등 활용 범위를 다양하게 시도하고 있다[6].

(a) Targeting on the Rotor and Stator



(b) Displacement Vectors on the Stator

Fig. 6 3-D Measurement for Electric Ring Motor by Photogrammetry System

2.3 레이저 측정 시스템

레이저를 이용한 측정 장비는 측정 조건의 안전성 및 편리성의 장점이 있으나, 측정 대상물이 레이저에 민감한 경우 사용이 제한된다.

2.3.1 레이저 추적기

레이저 추적기는 Fig. 7과 같이 레이저 추적기로부터 헬륨-네온(helium-neon) 광선이 방사되어 표적에 부착된 툴링 볼(tooling ball)에 반사되어 나온 광선을 다시 받아 표적의 3차원 위치 정보를 측정할 수 있는 장치이다. 레이저 추적기는 간섭계, 광 센서, 광선 분할기, 기준 거울 등으로 구성되어 있다. 이 장치의 정확도는 9 m 거리에서 ±0.1 mm의 정확도를 가지고 움직이는 목표물의 좌표 측정이나 실시간으로 측정 데이터가 요구되는 생산 자동화 라인 등에 효과적으로 사용될 수 있다.

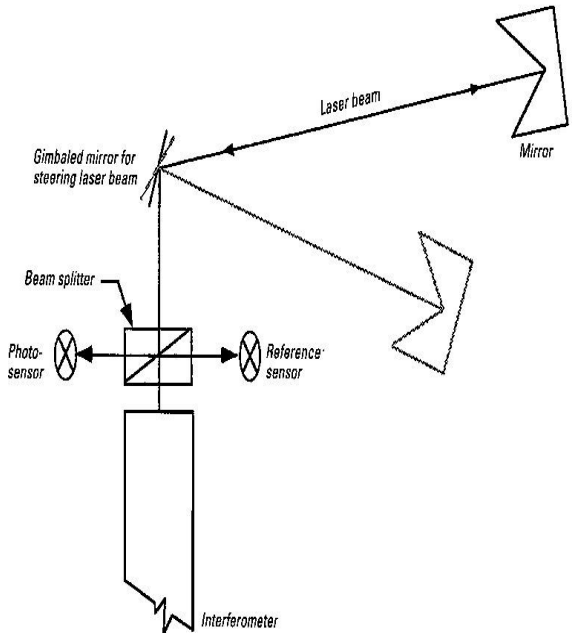


Fig. 7 Measurement Principle of Laser Tracker

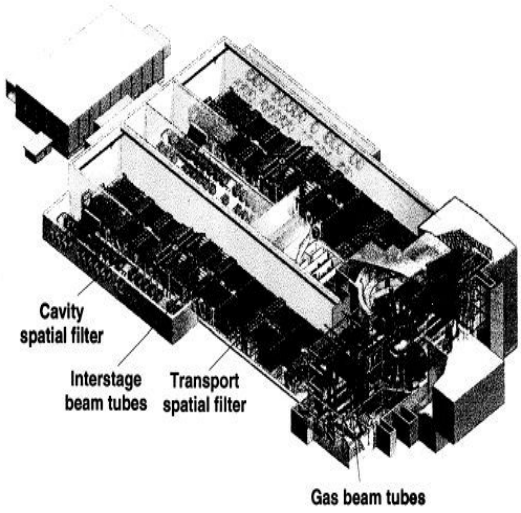


Fig. 8 National Ignition Facility

현재 미국에서는 Fig. 8과 같이 21세기형 물리 시험장치인 Natioanl Ingnition Facility를 건설하고 있다[7]. 이 시설은 1조 와트(Watts)의 전원으로 192개의 레이저 광선을 광선 발생 장치에서 약 400 m 떨어진 지름 0.5 mm 표적에 맞추도록 하는 장치이다. 이 장치를 이용하여 별

중심부에 존재하는 핵폭발이나 핵무기의 폭발을 모사할 수 있고, 모델링(modeling)이 가능하도록 하는 것이다. 따라서 건물의 편평도뿐만 아니라 장비가 설치되는 구조물의 정렬 정확도도 ±0.25 mm 이내에서 매우 정밀하게 측정되어 설치되어야 한다. 이를 위하여 레이저 추적기를 사용하여 장치의 지지대뿐만 아니라 건물의 정렬 및 온도와 습도에 따른 건물의 수축 등을 정밀하게 측정하고 있다.

레이저 추적기는 현재 국내 자동차회사, 항공기 제작사 및 건설관련 연구원 등에서도 폭 넓게 활용되고 있다.

2.3.2 레이저 스캐닝 측정 시스템

레이저 스캐닝 측정 시스템은 1984년 Rioux에 의해 처음 소개되었고, Fig. 9에서와 같이 레이저 광원에서 방사된 레이저 광을 스캐닝 거울로 2 개의 고정된 거울의 광학 축에 따라 반사한 후 스캐닝 거울 바깥쪽의 이중 렌즈를 통하여 CCD(charge coupled device)까지 전달되는 원리에 의해 측정되는 시스템이다.

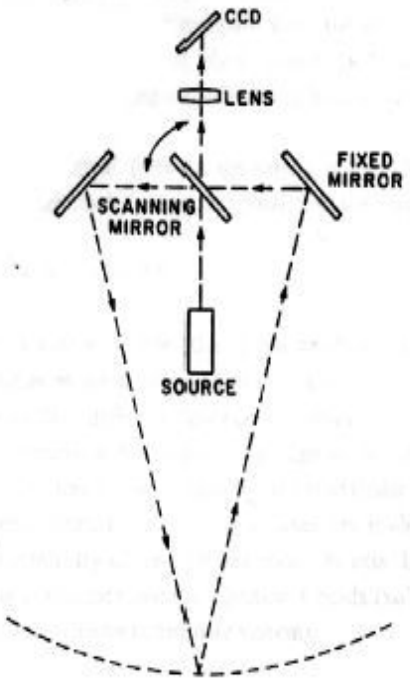


Fig. 9 Measurement Principle of Laser Scanning System

그리고 이러한 측정 원리를 이용하여 개발되는 측정 시스템에 따라 Videogrammetry System 혹은 Laser Radar System 등으로 명명된 측정 시스템도 있다. 이 측정 시스템은 측정되는 대상물의 실제 형상이 데이터 처리 시스템에서 시연되지만 현재까지 약 1.5 m의 거리에서 ±0.1 mm의 측정 정밀도를 얻을 수 있어 다른 측정 시스템과 차이를 가지고 있다. 그러나 측정의 편리성 및 전자 장치의 발전에 의해 더욱 정밀한 측정 시스템이 개발되고 있는 중이다.

이 측정 시스템은 종이 제조 공정에서 종이의 굴곡을 측정하거나[8], 제철소의 압출 공정에서 압출되어 나온 철판의 편평도 등을 측정하는 공장 자동화 기기의 좌표 측정기(coordinate measurement machine)로도 사용되고 있다.

3. 정밀 측정 시스템의 응용

상기에서 기술된 각 측정 시스템은 고유의 특징과 장점을 가지고 있어 측정 대상물의 형상이나 요구되는 정확도 등에 따라 각 측정 시스템의 조합이나 CAD, 로보트 등과의 조합을 통하여 더 정확한 측정 방법과 보다 안정된 측정 방법을 모색하면서 측정 응용분야를 넓혀 나가고 있다.

Fig. 10 Alignment Measurement of KOMPSAT 1

한국항공우주연구원에서는 Fig. 10과 같이 인공위성 및 우주 발사체에 탑재되는 자세제어 센서 및 광학 카메라의 정밀 정렬을 위하여 데오도라이트와 초정밀 조정이 가능하고 최대 0.5 초(degree)까지 측정이 가능한 회전 테이블을 결합한 얼라인먼트 측정 시스템을 설치 운용하고 있다[9]. 이 시스템은 길이 측정 정확도 0.5 mm, 각도 측정 정확도 10 초의 정밀 측정 시스템으로 위성체에 설치된 기준 면경(master cube)에 대한 측정 센서의 3차원 상대좌표를 측정하여 지상에서 원격 자세 제어 조정이 가능하도록 하는 측정 시스템으로 사용하고 있다.

미국 보잉사의 경우 항공기 제조에 사용하기 위하여 보유하고 있는 정밀 측정 시스템 즉, 사진 측정 시스템, 레이저 추적기, 레이저 스캐닝 측정 시스템 및 기타 좌표 측정기 등에서 측정되는 측정 데이터를 하나의 CATIA에서 처리할 수 있도록 하는 통합 소프트웨어를 구축하여 사용하고 있다. 이 시스템을 이용함으로써 각 측정 시스템에서 측정된 데이터를 형상화할 수 있고, 측정 데이터의 관리가 쉽고, 각 측정 데이터의 비교가 용이하여 생산성 향상, 생산 제품의 검사 및 품질 관리를 극대화하고 있다[10].

영국 런던 시립대학교내 광학 측정연구실에서는 2대 이상의 사진 측정시스템을 결합하여 사용할 수 있는 3-D Net Measurement System을 개발하여 이를 CAD 프로그램과 연결하여 사용하는 측정 시스템을 개발하였다. 이 시스템을 이용하여 실시간으로 170 개까지의 표적 영상을 2차원 좌표의 계산이 가능하도록 하였고, Fig. 11과 같이 항공기 제작 공정에서 별도의 조립용 지그(Jig)없이 로봇으로 드릴 작업과 용접작업을 수행할 수 있는 공장 자동화 지원 측정 시스템을 개발한 바 있다[11].

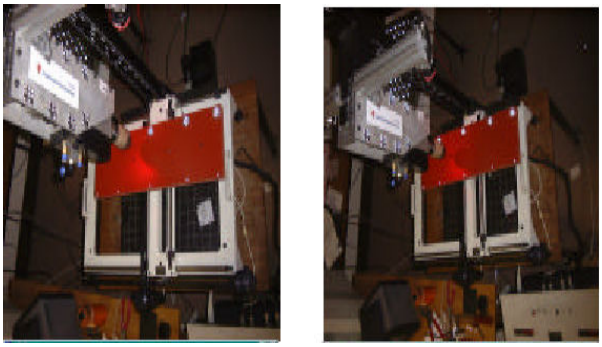


Fig. 11 Auto-Dilling by using the Phtogrammetry System

이밖에도 미국 영화 산업의 특수 효과 분야에서는 2000년에 개봉된 다이너소어(Dinosaurs)라는 만화영화를 제작하면서, 만화에 삽입되는 배경과 만화 주인공 간의 3차원 배열을 위하여 사진측정 시스템과 레이저 스캐닝 측정 시스템을 조합하여 만화영화에서의 시각 효과를 극대화시킨 바 있다. 그리고 이 시스템을 이용하여 Chill Factor, End of Days 등과 같은 만화 영상이 삽입되는 영화에도 활용하는 등 현재 미국 영화 산업에 많이 활용되고 있다[12].

4. 결 언

현재, 생산 및 장치산업은 선진화·고정밀화 되어가고 있는 추세이다. 특히, 고속철도, 항공기, 인공위성, 자동차, 원자력 발전소 등은 성능 향상과 더불어 제작·설치 공정 및 측정 검사 등의 측정 정밀도도 점점 높아지고 있다. 또한 생산 자동화 시스템에 있어서도 품질관리를 위한 측정 요구 정밀도가 높아지고 있어 선진국의 경우 전술한 정밀 측정 시스템의 활용과 적용 범위가 점차 확대되고 있는 실정이다. 국내 산업에 있어서도 보다 고부가가치의 생산품 제조와 생산 공정의 자동화를 위해서는 3차원 정밀 측정 시스템의 활용 기술이 필수적으로 갖추어져야 한다. 이를 위하여 산업용 정밀 측정 기술을 위한 전문기관의 선정, 측정 시스템 개발 및 활용을 위한 전문 인력의 육성, 산업체에서의 정밀 측정에 대한 인식 제고 그리고 정밀 측정에 대한 인적 교류 및 정보 교환의 활성화가 선행되어야 한다.

참고문헌

1. 이주진, 윤용식, 최종연, “3차원 좌표 측정을 위한 광학 측정기기 및 활용,” 기계저널, 제 40권, 제5호, pp.65-68, 2000.
2. 윤용식, 이동주, “3차원 정밀좌표 측정 기술과 동향,” 한국공작기계학회지, 제11권, 제1호, pp.7-13, 2002.
3. 윤용식, 이중엽, 조창래, 이상설, “위성체 구조시험 모델의 3차원 정밀 측정,” 한국정밀공학회 춘계학술대회논문집, pp. 131 - 134, 2001.
4. Cohen, D., Brydon, L., "Reflector Surface Thermal

Stability Measurement," CMSC Conference, 1998.
5. Fraser, C., Morrison, R., "Deformation Measurement of the World's Largest Electric Ring Motor," CMSC Conference, 1999.
6. Morrison, R., "Weired and Wonderful Applications of Close-Range Digital Photogrammetry," CMSC Conference, 1999.
7. Jahn, B., "LLNL National Ignition Facility," CMSC Conference, 1999.
8. Radovanovic, R., Thompson, James., Egger, T., Teskey, W., "Use of a Laser Scanner System for Precise Roll Surface Mapping," CMSC Conference, 1999.
9. 최종연, 윤용식, 이주진, “위성체 얼라인먼트 측정 방법 및 결과,” 항공우주학회 추계학술발표회 논문집, pp.515-518, 1998.
10. Lind, J., Gorsh, C., "Common Software Platform for Computer Aided Measurement Systems," CMSC, 1999.
11. Clarke, T., Wang, X., "An Embeded Metrology System for Aerospace Applications," CMSC Conference, 1999.
12. Lasky, A., "Measurement Technology for Film Visual Effects," CMSC Conference, 1999.