

스트레처블 폴리머 디퓨저를 이용한 균질 레이저 디스플레이 해석

이재원^{1*}, 이선봉², 최해운²

¹계명대학교 대학원 기계공학과, ²계명대학교 기계자동차공학과

Analysis of Homogenized Laser Beam Display by a Polymeric Stretchable Diffuser

Jae-Won Lee^{1*}, Seon-Bong Lee² and Hae-Woon Choi²

¹Division of Mechanical Engineering, Keimyung University

²Division of Mechanical and Automotive Engineering, Keimyung University

요약 본 논문은 스트레처블 폴리머 디퓨저를 이용하여서 간섭성이 있는 레이저의 단점인 스펙클 효과를 감소하는 결과를 비교 분석하였다. 자체 제작한 RGB 모듈을 기반으로 하여 빔 콤바이너를 거쳐서 레이저빔을 집속한 후 고전압 저주파수를 통해서 레이저빔을 균질화 하였다. 평균 180~300Hz 정도의 주파수를 가한 결과 레이저빔의 균질효과가 나타났다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 디퓨저와 DMD 반사경을 구현 하였으며, 808nm 레이저빔을 가상으로 조사하여서 디퓨저 유무에 따른 빔의 산란도 및 균질도를 검증 하였다. 결과적으로 디퓨저를 통한 빔의 균질도가 산란효과를 감소시켰고, 이를 통한 디스플레이 선명도를 개선할 수 있을 것으로 기대된다. 청색레이저의 투과도가 83% 정도로 적색이나 녹색 레이저에 비해서 상대적으로 취약하였는데, 이는 디퓨저 내부를 통과시 레이저 빔의 굴절의 양이 많아져서 확산 각이 증가하였기 때문으로 분석되었다. 레이저와 광학 장치 사이에 디퓨저를 사용하여 이미지 구현했을 때 스펙클 패턴은 제거되었으며, 레드(650nm), 그린(532nm), 블루(405nm) 파장에서 10-20% 정도의 밝기 감소가 나타났으며, 전체적인 밝기 감소는 13% 정도 이루어졌다. 또한, 스트레처블 폴리머를 이용한 경우 시간축 균질도도 30fs에서 110fs로 개선 되었다.

Abstract A stretchable polymeric membrane shaped diffuser was used to homogenize the coherent laser beam. The developed RGB module was used to focus and defocus test by beam combiners. Average oscillation frequency was set at 180Hz~300Hz and it resulted in the best homogenization effect in visual range. The blue laser module turned out to be the worst case for the transmission and primary reason is believed to be the short length of irradiated laser beam. The developed system removed the speckling and the brightness was decreased by 10 ~ 20% for the RGB laser. Overall the brightness was decreased by 13% and homogeneity with respect to the temporal axis was improved from 30fs to 110fs.

Key Words : Diffuser, Head up display (HUD), Laser, Speckle patterns, Stretchable polymer

1. 서론

레이저 기술은 비약적인 발전을 이루어서 가공분야 뿐만 아니라 디스플레이분야에서도 그동안 난제였던 부분들을 단계적으로 극복해 왔다. 최근 차량이 스마트화 되

면서 주행 중 운전자에 대한 정보제공의 일환으로 헤드업디스플레이가 많이 연구되었다.

많은 분야에서 사용되는 레이저는 각각의 특성이 활용 분야에 따라 장/단점으로 작용할 수 있다. 대표적인 예로 레이저의 간섭성을 들 수가 있는데, 이러한 간섭성을 이

*Corresponding Author : Jae-Won Lee(Keimyung Univ.)

Tel: +82-10-5000-2381 email: darkjaewon@nate.com

Received September 17, 2013

Revised (1st October 16, 2013, 2nd October 21, 2013)

Accepted January 9, 2014

용하면 원거리측정이나 속도 측정 뿐만 아니라 가공부품의 정밀측정까지 가능하게 되었다. 단점으로 보강간섭과 소멸간섭이 반점과 같은 형태로 표면에 나타나게 된다. 현재 스펙클 패턴(Speckle patterns)을 이용한 연구들이 진행되고 있다. 국내에서는 스펙클 간섭법을 이용한 기계적 물성 평가로 압력배관 내부 결함 검사에 관한 연구[1]와 MEMS (Micro Electro Mechanical System) 재료를 μm - nm 단위까지의 시편을 인장시험을 통해 탄성계수, 항복강도, 극한 강도와 열팽창계수를 측정하는 연구가 진행되었으며[2], 물체 감지에 의해 광센서 입력 변화로 인한 스펙클 패턴이 변화를 측정해 침입자의 유무를 판단할 수 있는 침입자 센서도 연구되었다[3]. 또한 의료 분야의 맥파 측정 장치 및 맥파 측정 방법에 대해서도 연구[4] 되었다. 해외에서는 스펙클 패턴을 이용한 레이저 표면 인증 (Laser Surface Authentication) 시스템[5]을 연구 하고 있다. 이처럼 스펙클 패턴은 다양하게 연구되고 있다.

하지만, 이러한 간섭성은 디스플레이 분야에서는 불필요한 패턴 즉, 스펙클 패턴을 형성하게 된다[6]. 이러한 레이저의 특성인 간섭성으로 인하여 나타나는 현상은 표면이 레이저의 파장보다 큰 입자의 크기를 가진 경우, 즉 거칠기가 큰 물체에 레이저를 조사 할 경우 물체의 표면에서 난반사된 광들이 겹쳐서 간섭을 일으키게 된다.

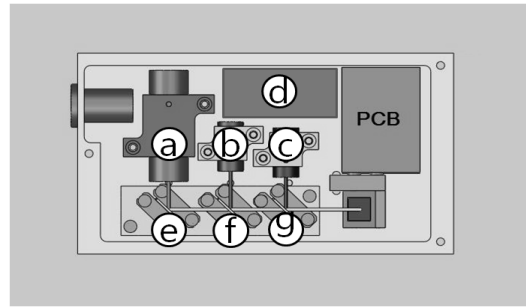
본 연구에서는 차량용 헤드업 디스플레이 (HUD)에 레이저 광원이 사용될 시 발생할 수 있는 레이저 기반 광학 장치의 스펙클 패턴에 단점을 극복하기 위한 방안으로 스트레처블 폴리머와 마이크로 미러 장치의 결합을 통한 개선 방법의 제안과 이 방법의 개선효과를 증명하였다.

2. 실험장치

2.1 레이저 발생장치

본 연구에 사용된 레이저 기반 광학장치의 광원부 구조는 Fig. 1과 같다. 먼저 다양한 칼라재현을 위해서 RGB 레이저를 사용하였으며, Fig. 1의 ㉑는 그린 레이저, ㉒는 레드 레이저, ㉓는 블루 레이저 ㉔는 레이저 드라이버를 나타내었다.

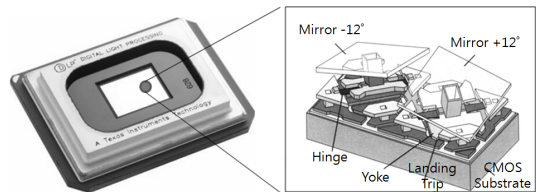
또한, 광학 경로변경을 위한 매니퓰레이터로서 ㉕는 532R, ㉖는 650R/532T, ㉗는 405R/650T/523T의 빔 컴바이너 (Beam combiner)를 사용하였다. ㉕, ㉖, ㉗의 빔 컴바이너로 앞에 숫자는 파장을 의미하여 650은 적색계열, 532는 녹색계열, 405는 청색계열을 나타낸다. 뒤에 영어 R은 반사(reflection), T는 투과(transmission)를 의미한다.



[Fig. 1] Schematic of laser for RGB combination

2.2 광원분산 및 제어장치

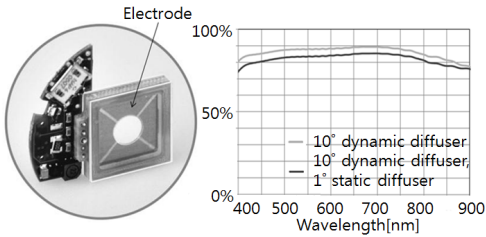
디지털 마이크로미러 장치 (Digital Micromirror Device, Texas Instrument Inc.)는 고해상도 디스플레이를 가능케 한 계기가 되었으며, 마이크로 가공기술의 발전과 더불어 디스플레이 시장 및 유관기술에 큰 기여를 하였다. Fig. 2에 도시된 바와 같이 DMD장치는 수 μm 크기의 반사경을 수십만 개 배열한 형태로써, 입사된 광원이 반사경의 방향에 따라서 디스플레이의 최종형상이 결정이 되게 된다.



[Fig. 2] Digital Micro mirror Device [7]

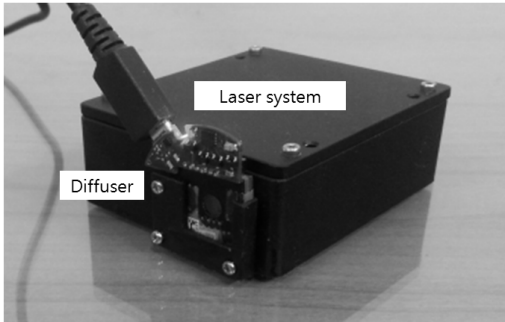
본 연구에 사용된 스트레처블 폴리머는 얇은 투명재료의 폴리머 박막에 저주파 (180Hz ~300Hz) 고전압을 가하게 되면 폴리머가 수축과 팽창을 하는 장치이다. 이러한 폴리머 표면은 미세한 패턴이 형성되어 있어서 레이저빔이 입사될시 랜덤한 패턴을 형성하게 되고 이를 통해서 레이저빔의 간섭에 의한 스펙클링을 최소화 할 수 있는 장치이다.

Fig. 3에서 도시된 바와 같이 약 5~10mm 크기의 Aperture를 형성하고 스트레처블 폴리머가 설치된다. 스트레처블 폴리머에는 네 개의 전극 (Electrode)이 부착되어 있고, 이를 통해서 고전압 저주파의 에너지가 공급이 되는 구조로 되어 있다. 제조사에서 자체 테스트한 투과도를 보면 가시광 영역에서의 평균 투과율은 80% 이상의 우수한 투과율을 가지고 있다. 우수한 투과율은 에너지효율의 관점뿐만 아니라 폴리머의 에너지 흡수가 낮아져서 변형이나 왜곡의 문제점도 개선할 수 있다.



[Fig. 3] Stretchable polymer based diffuser [8]

기술된 내용을 바탕으로 스트레처블 폴리머 기반의 디퓨저와 레이저광원의 결합된 장치를 기본으로 한 최종 실험장치가 Fig.4와 같이 구성이 되었다.

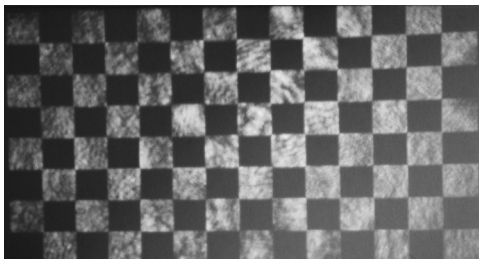


[Fig. 4] Laser source with stretchable polymer based diffuser

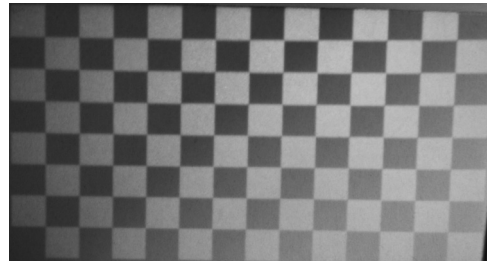
3. 결과

3.1 하드웨어 성능의 정량적 결과

2절에서 기술된 실험 장치를 기본으로 하여서 스트레처블 폴리머를 통한 레이저빔의 균질도를 측정하였다.



(a)



(b)

[Fig. 5] Comparison of Homogeneity

- (a) Image of a Speckle pattern without diffuser
- (b) Speckle pattern image with diffuser

Fig. 5에서 보여진 바와 같이 발진된 광원이 디퓨저를 통하지 않은 상태 Fig. 5(a)에서는 상대적인 간섭이 많이 발생하여 스펙클이 많이 발생되었지만, 디퓨저를 작동시킨 상태 Fig. 5(b)에서는 상대적으로 스펙클이 많이 감소한 것을 알 수가 있다.

구축된 시스템의 성능을 정량적으로 평가하기 위하여 각 빔 컴바이너별 투과도 및 반사도 실험을 수행하였다. 실험은 디퓨저를 작동 혹은 미작동 상태에서 진행하였으며, 광원을 적분하여 측정할 수 있는 적분구(Integrating sphere, IS-200 series, Thorlabs Inc.)를 사용하였다. 이에 대한 결과가 Table 1에 정리 되어 있다.

[Table 1] Measurement of the RGB laser output

Color	Diffuser off	Diffuser on	Efficiency
Red	92.3 μ W	84.4 μ W	91.4%
Green	92.2 μ W	80.6 μ W	87.4%
Blue	103.8 μ W	86.8 μ W	83.6%

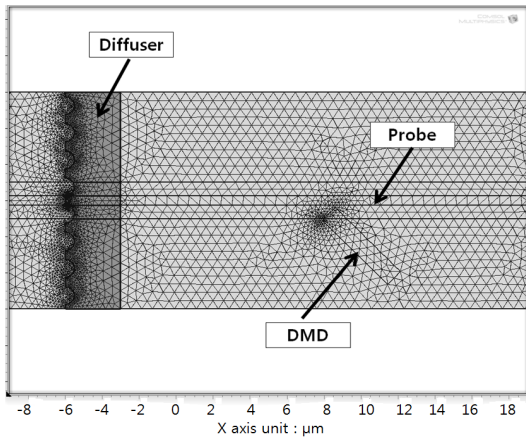
Table 1에서 나타난 바와 같이 레이저빔의 색깔에 따라서 효율의 차이가 발생하기는 하지만, 평균 80%이상의 우수한 투과도를 보여 주었다. 효율이 상대적으로 적은 블루 레이저의 경우는 파장이 상대적으로 짧아서 스트레처블 폴리머내부에서 산란이 많아졌기 때문일 것으로 분석이 되며, 이는 제조사 Fig. 3에서 제공한 테스트결과와 동일한 경향을 보여 주고 있다.

3.2 컴퓨터 시뮬레이션

실험에서 나타난 스펙클 감소를 정량적으로 분석하기 위해서 유한요소해석법을 이용하여서 광원의 산란을 분석하였다. 분석에 사용한 유한요소 해석툴은 COMSOL Multiphysics™ 4.2a 버전의 RF 모듈을 사용하였으며, 도메인의 크기는 30 μ m x 12 μ m 크기로 설정하였다.

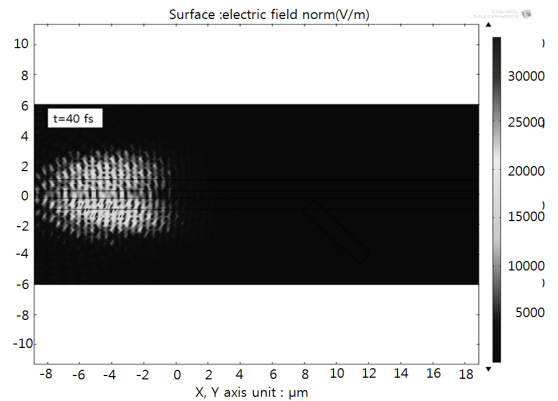
광원을 매니플레이션(Manipulation) 하기 위한 광학부품으로는 디퓨저의 패턴과 DMD의 마이크로 미러를 사용하였다. 디퓨저의 재질은 폴리머를 사용하고 굴절계수는 $n=1.4$ 로 설정하였다. 또한 DMD 마이크로 미러의 반사도 및 산란도는 재질 및 조도에 대해서 변하게 된다. 하지만, 시뮬레이션을 단순화하기 위해서 조도에 의한 산란도는 분석하지 않고, 본 연구에서 주로 분석하고자 하는 내용인 디퓨저를 통한 균질도 향상에 초점을 맞추고자 하였다. 따라서, 산란의 효과를 명확히 하기 위해서 DMD 재질을 실리콘 재질보다 비교적 반사도가 높은 금속속으로서 설정하여 분석 하였다.

Fig. 6 과 같이 설정한 도메인에 근적외선 영역인 808nm 파장의 레이저빔은 25fs ($fs = 10^{-15} \text{ sec}$) 동안 조사하였다. 25fs 의 짧은 펄스를 통해서 레이저빔의 산란패턴을 명확하게 할 수 있을 것으로 기대하였다. 또한, DMD 미러의 인접한 곳에서 probe 위치를 설정하여서 산란되는 빔의 강도를 정량적으로 측정을 하였다.

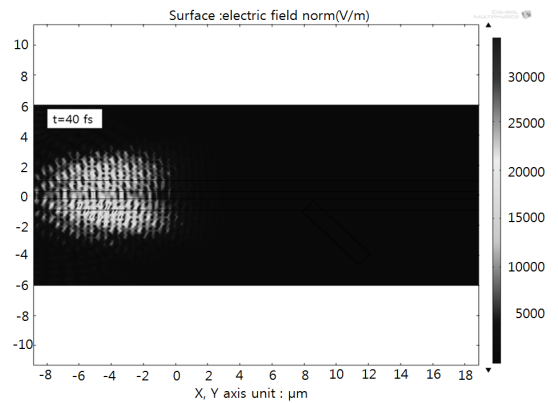


[Fig. 6] Simulation domain

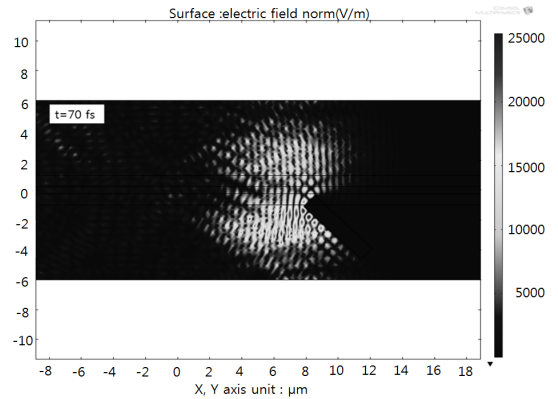
Fig. 7에는 레이저빔이 디퓨저를 통하지 않고 DMD 에 까지 전파되는 형상을 보여주고 있다. 레이저빔은 20fs 이후 공기 중에서 전파되는 모습이 도시 되어 있다. 40fs 에 레이저빔은 자유공간(공기)에 통과를 하고, 70fs 에는 DMD 미러에 도달하게 된다. 이후 레이저빔의 일부는 미러의 모서리에서 강한 산란이 일어나게 되고 일부는 하부로 반사된다.



(a)



(b)

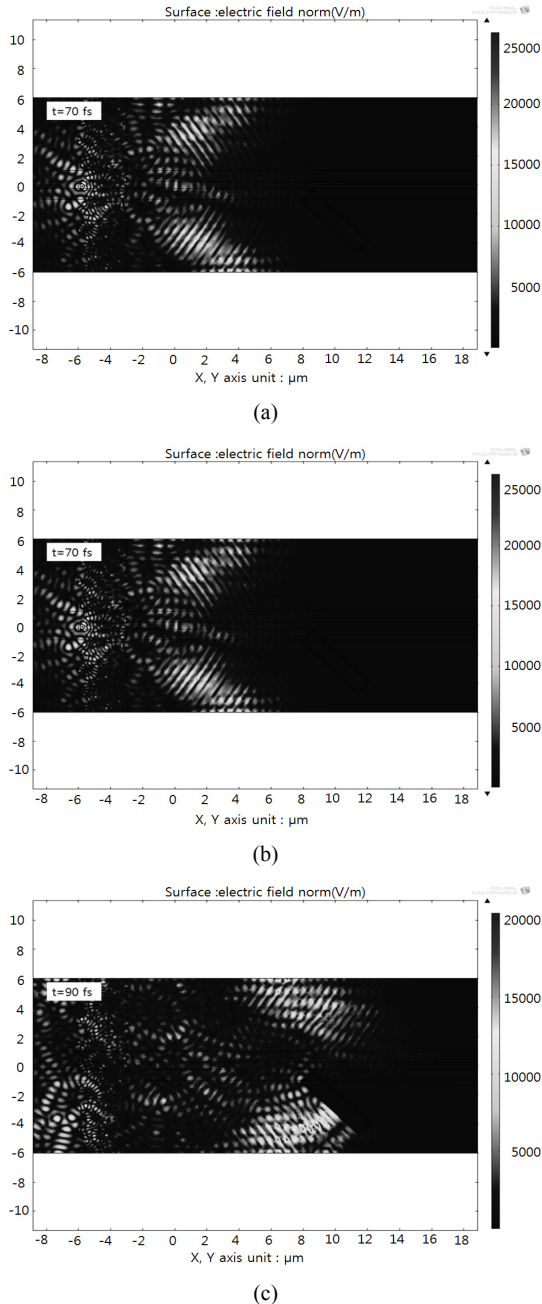


(c)

[Fig. 7] Laser beam propagation without diffuser
(a) $t=20\text{fs}$ (b) 40fs (c) 70fs

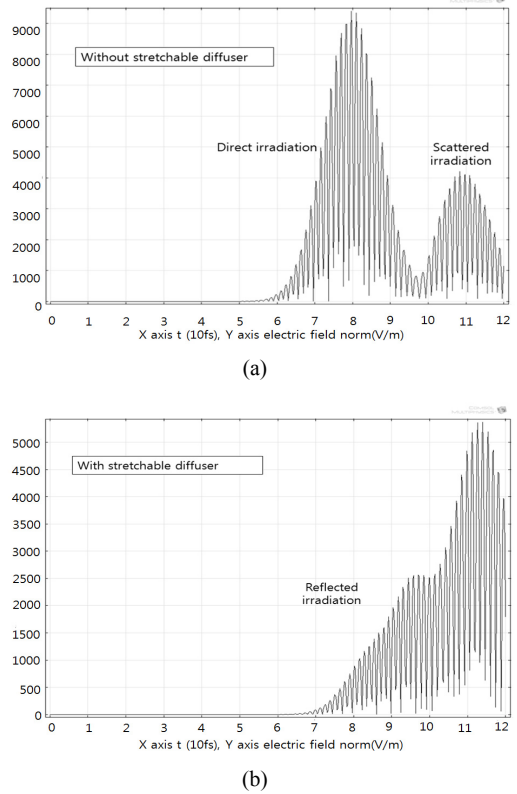
반면, Fig. 8에는 레이저빔이 디퓨저를 통과하여DMD 에 까지 전파되는 형상을 보여주고 있다. 레이저빔은 40fs 에 레이저 광원은 디퓨저를 통과하게 되고, 이때 마

이크로 패턴에 의해서 레이저 광이 일시 집광되면서 통과를 한다. 집광 후 다시 Defocusing 효과로 산란되면서 레이저광 산란 및 간섭효과로 인해서 균질화가 진행이 되며, 90fs 에는 DMD 미러에 도달하게 되고 균질화 된 빔의 대부분은 반사가 일어나고 일부 산란된다.



[Fig. 8] Laser beam propagation without diffuser
(a) t=40fs (b) 70fs (c) 90fs

정량적인 분석을 위해서 프로브 위치 Fig. 6에서 전기장 세기를 시간별로 측정 하였다.



[Fig. 9] Comparison of laser irradiation after DMD mirror at the probe location

Fig. 9(a)에서 예시된 바와 같이 디퓨저를 통과하지 않은 레이저 빔은 80fs 에 직접적인 레이저빔 조사를 받고, 이후 모서리 산란에 의한 빔이 110fs 정도에 2차적으로 발생을 하게 된다. 다시 말하면, 80fs는 DMD 미러의 간섭이 아니지만 110fs 제 조사된 레이저는 모서리 산란에 의해 발생하는 손실로 분석 될 수 있다. 전체적으로 디퓨저를 사용하지 않은 경우 펄스의 시간폭은 약 30fs (65fs 에서 95fs)였다.

반면, 디퓨저를 사용한 경우는 이러한 산란보다는 110fs 근처에서 직접적인 조사를 받게 되고, 완벽하지는 않지만 시간영역에서 (Temporal) 균질화 된 가우시안 형태 (입사빔과 유사)를 이루게 됨을 알 수가 있었고, 시간 폭은 약 110fs (80fs에서 160fs)로 균질도가 향상 되었다.

4. 결론

본 논문에서는 레이저 기반 광학 장치의 스펙클 패턴 개선 방안에 대한 연구로 레이저빔에 스트레처를 폴리머를 사용하여 빔을 균질화 하고, DMD를 통해서 이미지를 개선하는 내용을 소개하고 있다.

스트레처를 폴리머를 통해서 레이저빔의 균질도가 향상됨이 육안으로 확인되었고, 극초단 레이저 컴퓨터시물레이션을 통해서 균질효과가 증대됨을 알 수 있었다. 구성된 RGB 레이저의 경우 디퓨저를 통과하면서 그 효율이 일부 감소되기는 하였지만, 블루, 그린, 레드 모두 우수한 투과율을 보였다.

레이저와 광학 장치 사이에 디퓨저를 사용하여 이미지 구현했을 때 스펙클 패턴은 제거되었다. 각각 레드(650 nm), 그린(532nm), 블루(405nm) 파장에서 10-20%정도의 밝기 감소가 나타났으며, 전체적인 밝기 감소는 13%정도 이루어졌다.

컴퓨터시물레이션 결과 자체간섭으로 인한 빔의 균질화로 인해서 레이저빔 산란이 일부 감소되는 것을 알 수 있었고, 균질도는 향상되었다. 추가적인 연구에서는 레이저 기반 광학 장치의 스펙클 패턴 개선 시 현재 밝기 감소에 영향을 주는 인자를 파악하여 밝기와 스펙클 패턴을 함께 개선해야 할 것으로 판단된다. 또한 파장별 산란의 민감도를 추가로 시물레이션 하여서 분석하면, Table 1과 유사한 결과가 나올 것으로 기대되며 이를 통해서 디퓨저형상 최적설계에 기초자료로 활용될 것으로 기대가 된다.

References

[1] Chan-Ju. Park, "Development of inside crack measuring technique for pressure pipeline using speckle interferometry", PhD dissertation, Dept of Mechanical Design Engineering, Graduate School of Chosun University, 2011.

[2] Kyung-Suk. Kim, Ki-Su. Kang, Hong-Suk. Yoon, Jung-Gu. Choi, Hyang-Seo. Lee, Jin-Hyeok. Son, Sang-Kyu. Baek, Yu-Hwang. Lee, Chang-Jun. Ji, "Measurement Technique of Mechanical properties materials for MEMS by Laser Speckle Interferometry", International Joint R&D Projects, Chosun University, 2006.

[3] In-Su. Kim, Jin-Seok. Gang, Ki-Man. Kim, "Implementation and Analysis of Digital Signal Processing System for Intruder Detection using the

Variations of the Optical Speckle Patterns", Journal of the Korea Electromagnetic Engineering Society, Vol. 15, No. 4, pp. 360-367, 2004.

[4] Hyeon. Heo, Ki-Chang. Nam, Eun-Geun, Kim. Young. Heo, "Pulse wave measuring apparatus using laser speckle image and Pulse wave measuring method using this apparatus", Korea Patent, No. 1020090079550, 2009.

[5] Russell Cowburn, "Laser surface authentication - reading Nature's own security code", p.331-342, Contemporary Physics, Vol. 49, Issue. 5, 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00107510802583948>

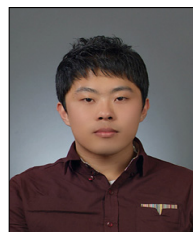
[6] Jae-Won. Lee, "A Study of RGB Lasers and Fiber Optics Implemented HUD System for Automotive Applications", Master's Thesis, Graduate school of Keimyung University, 2013.

[7] Texas Instrument, DLP 0.3 WVGA Chipset, Texas Instrument, 2012, www.ti.com, (accessed 09, 2013)

[8] Optotune, Application Note technical data sheet, Optotune AG, 2013, www.optotune.com, (accessed 09, 2013)

이재원(Jae-Won Lee)

[정회원]



- 2010년 2월 : 계명대학교 기계자동차공학과 (공학사)
- 2011년 3월 ~ 2012년 12월 : 한국전자통신연구원 위촉연구원
- 2013년 2월 : 계명대학교 일반대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 산업기술연구소 연구원

<관심분야>

자동차 전자장치, 지능형 자동차

이선봉(seon-bong Lee)

[정회원]



- 2004년 2월 : 부산대학교 대학원 기계공학 (공학박사)
- 2007년 2월 : 대구경북과학기술원 지능형자동차 연구팀장
- 2007년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 기계자동차공학과 교수
- 2009년 12월 ~ 현재 : 대구경북자동차부품진흥재단 전무이사 겸 지능형자동차사업단장

<관심분야>

자동차 전자장치, 지능형 자동차

최 해 운(Hae-Woon Choi)

[정회원]



- 2003년 5월 : Univ. of Central Florida 기계공학 (공학석사)
- 2007년 8월 : Ohio State Univ. 용접공학 (공학박사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 기계자동차공학과 교수

<관심분야>

레이저 가공, 레이저 용접