Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol.23, No.1 pp.13-21, Fubruary 2004

3차원 근접정보를 이용한 검사시스템의 성능평가와 디자인 고려사항

The Performance of An Inspection System Providing 3D Spatial Proximity Data and Its' Design Considerations

정경호*

ABSTRACT

Due to economical or technological reasons, humans are responsible for inspection functions in many cases. Humans, however, are rarely perfect, thus allowing non-confirming parts to be processed. As the attributes of interest or the variety of products increases, the inspection system becomes less effective because of the sensory and cognitive limitations of human inspectors. Any means that can support or aid the human inspectors is necessary to compensate for inspection difficulty.

Augmented reality (AR) offers a new approach in designing an inspection system as a means to augment the cognitive capability of inspectors by providing the 3D spatial proximity between two information channels. The experimental results suggest that AR might be an effective tool that reduces inspection time without sacrificing the measuring accuracy.

Keyword: Augmented Reality, Virtual Reality, Dimensional Inspection, Spatial Proximity.

*한국정보보호진흥원
주소: 138-803 서울시 송파구 가락동 78번지
전화: 02-405-5120
E-mail: khc@kisa.or.kr

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

1. 서 론

증강현실 (Augmented Reality) 기술은 주로 군사적 목적으로 사용되어 왔으며, 대표적인 형태는 전투기, 헬리콥터의 비행사가 사용하는 Helmet-mounted Display (HMD), 또는 Head-up Display (HUD)의 예에서 살펴볼 수 있다. 이들은 항공기의 주요 계기정보를 외부 비행환경에 결합함으로써, 비행사가 계기정보와 외부정보를 동시에 처리할 수 있도록 지원한다 (Goesch, 1990; Wickens & Long, 1995; Newman, 1995).

증강현실기술이 실제 업무와 이를 지원하는 정보를 결합할 수 있다는 특유의 장점으로 다양한 산업영역에서 증강현실기술의 응용에 대한 연구가 진행되고 있다. 이러한 예는 환자의 신체와 초음파이미지를 합성한 의학용 응용시스템 (Bajura, 1992), 레이저 프린터에 수리정보를 결합한 유지보수 시스템 (Feiner, 1993), 점보제트기의 케이블 조립을 위한 보잉사의 AR 프로젝트 등에서 살펴 볼 수 있다 (Sims, 1994). 증강현실을 이용한 다양한 연구사례는 Shewchuk, Chung, & Williges (2002)에서 살펴볼 수 있으며, 증강현실을 이용한 두께 측정 (Thickness) 검사의 경우 수작업 방식에 비해 약 50%이상 시간을 단축시킬 수 있음을 보여 주었다 (Chung, Shewchuk, & Williges, 1999). 그러나 증강현실기술을 실제 제조부문에 활용한 예는 미흡하며, 대부분은 활용 가능성의 시험수준에 머물고 있다 (Azuma, 1997).

증강현실은 공간적 근접성 (Spatial Proximity)을 통해 작업자에게 두 개의 서로 다른 정보채널에 대한 병렬처리 (Parallel Processing)가 가능하도록 정보를 결합한다.

그러나 공간적 근접성이 항상 정보의 병렬처리를 지원하는 것은 아니며, 두 채널간의 혼동 (Confusion)을 최소화하기 위해서는 이들 정보의 공간적 배열과 위치의 적합성이 중요하다 (Martin-Emerson & Wickens, 1977). 또한 Wickens & Hollands (1999)는 정보의 병렬처리는 정보상호간의 공간적 근접성뿐 아니라, 인지적 근접성에 의해 결정된다는 연구결과를 보고하였다.

본 연구의 목적은 증강현실 기술을 이용한 치수검사 시스템(Dimensional Inspection System)을 개발하고, 개발 시스템의 성능평가를 통해 증강현실 기술의 산업적 활용 가능성을 평가하는 것이다. 치수검사는 부품이 품질사양의 허용오차 기준을 만족하는가를 판단하는 것으로 높이, 지름, 두께 등 제품의 치수(Dimensional Attribute)와 각도, 평평도(Flatness), 원형도(Roundness) 등 기하학적 형태(Geometric Attribute)에 대한 검사를 포함한다. 자동화가 이루어진 일부 작업장을 제외한 대부분의 작업장에서는 아직도 검사자가 직접 부품검사를 담당하고 있다. 그러나 작업자에 의한 직접 검사방식은 장시간이 소요되며, 그 정확성에 있어서도 측정도구 및 방식에 따른 한계를 갖게 된다. AR 검사 시스템은 투과형(see-through) HMD 상에 치수검사 정보를 순서에 따라 표시하여 마치 실제 부품 위에 검사정보가 새겨진 것과 같은 합성 이미지를 제공하도록 개발되었다. AR 시스템을 통해 작업자는 컴퓨터에서 제공되는

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

검사정보 (측정도구, 검사항목, 허용오차 등)를 검사순서에 따라 순차적으로 볼 수 있었다. 또한 HMD는 작업자가 머리에 착용하는 대신, 작업대에 고정되어 작업자의 신체적 부담을 경감시킬 수 있도록 작업이 설계되었다.

2. 연구방법

2.1 피실험자

치수검사에는 여러 측정기기의 사용방법에 대한 이해가 요구되어, 본 연구에서는 Manufacturing Process Lab.을 수강한 대학생들을 피실험자로 선발하였다. 실험 수행에 앞서 시력측정기를 이용하여 20/20의 이상의 정상시력을 가진 24명의 피실험자를 선정하였다. 피실험자들의 평균연령은 23.5세 (최소 20세, 최대 28)였으며, 남녀 각 15명, 9명이었다. 또한 피실험자간의 치수검사에 대한 이해의 차이를 최소화하기 위하여, 실험에 앞서 약 1시간에 걸쳐 치수검사에 필요한 측정기기의 이용방법에 대한 설명을 제공하였다.

2.2 실험디자인

본 실험은 4×2×4 결합시험디자인 (Mixed-Factors Design)을 이용하였다. 치수검사방식은 4개 수준 (Manual, 2D, 3D, AR), 부품유형은 2개 수준 (각형, 회전형), 검사항목은 4개 수준 (Point, Exact, Line, Surface)로 설정되었다. 검사방식은 피험자간 요인(Between-subject Factors) 이며, 제품유형과 검사항목은 피험자내 요인(Within-subject Factors) 이었다. 개별 실험조건 (Treatment Condition)에는 각 6명의 피실험자가 할당되었다.

2.3 종속변수

검사시간과 측정오차가 검사시스템의 성능평가기준으로 사용되었다. 검사시간은 피실험자가 길이, 높이, 지름 등을 측정하는 데 소요되는 시간을 의미한다. 또한, 검사오차는 이들 항목의 측정의 정확도를 의미하며, 정확도는 일반적으로 측정오차(실제값과 측정값의 차이)로 표시된다. 하나의 부품에는 동일한 검사항목이 다수 존재하므로, 검사시간과 측정오차의 평균의 비교를 통해 피실험자의 작업성과가 평가되었다.

2.4 실험절차 및 실험장비

작업자가 검사작업을 수행하는 과정은 비디오 카메라와 비디오 레코더에 녹화되었다 (그림 1 참조). 비디오 카메라는 전체 실험 진행과정을 기록하기 위하여 사용되었다. 비디오 레코더는 작업자가 사용하는 컴퓨터 디스플레이와 AR 디스플레이의 화면을 녹화하기 위해 사용되었다. 실험자는 실험실 외부에서 2대의 모니터를 통해 피실험자의 작업과정, 작업진행에 따른 AR 디스플레이의 정보내용, 데이터 입력내용 등을 관찰할 수 있었다.

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

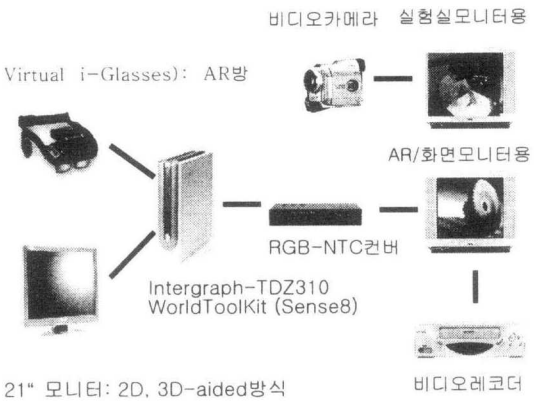


그림 1. 실험환경 및 AR 시스템 구성도

실험 시작에 앞서, 피실험자에게는 가능한 정확하고, 빠르게 6개의 부품모두에 대한 검사작업을 끝내도록 요청하였다. 측정항목은 각 3회 측정하여 평균값을 기록한다. Dial Caliper, Height Gage, Dial Gage 등 측정장비의 오차율은 ±0.01 inch이며, 각도의 측정을 위한 Bevel Protector의 오차율은 ±5 min. 이다.

피실험자는 6개의 부품을 하나씩 랜덤한 순서로 검사를 하였다. 피실험자는 주어진 작업지시서에 따라 부품상의 검사항목들이, 주어진 허용오차를 만족하는 지를 검사한다. 검사절차는 일반적인 치수검사에서와 같이 (1) 도면(Engineering Drawing) 상의 검사항목 확인, (2)마킹(Marking), (3)측정, (4)측정결과 기록, (5)평균측정값의 계산, (6)측정결과가 허용오차 (Tolerance) 내에 있는지에 대한 판단, (7) 클리닝 (Cleaning)의 순서로 이루어진다

2.4.1 Head Mounted Display

동 실험에 사용된 AR 장비는 Virtual i.O. 사의 i-glasses LCD (Liquid Crystal Display)로 기능명세는 표 1과 같다. AR 시스템은 기능상의 한계로 작업자에게 정확한 입체이미지 (Stereoscopic)를 제공하기 곤란하여 단안 (Monocular)으로 사용되었다. 따라서 작업자는 실제 양안으로 물체를 보는 반면, 컴퓨터에서 제공되는 정보는 오른쪽 화면에만 투영되었다. 사전시험 (Pretest)에서 작업자는 부품과 검사정보를 양안으로 동일하게 보는 것으로 지각하였으며, 실제 작업성과에 부정적인 효과는 없는 것으로 분석되었다.

표 1. Head-Mounted Display 의 명세.

명 세 항 목	성 능
가시영역	30°(수평)× 22.5°(수직)
해상도	VGA (640× 480)
초점거리	12 feet from viewer
최대 밝기	10 foot-lamberts
최대 명암	100:1
주사율	60 or 70 Hz
양안/단안	단안 (Monocular)
무게	8 온스

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

2.4.2 검사부품

검사부품은 3개의 각형 (Prismatic)과 3개의 회전형 (Rotational) 부품으로, 치수검사작업에서 전형적인 검사항목을 내재하는 부품군에서 선정되었다. 사용된 6개의 부품과 검사항목은 그림 2와 같다.

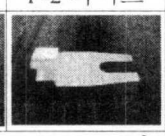
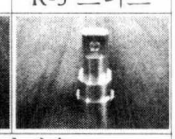
	P-1 키이	P-2 가이드	P-3 홀더
각형			
	검사항목	검사내용	
	Point	길이, 넓이, 높이 등	
	Exact point	높이, 두께	
	Line	각도	
	Surface	평평도, 평행도	
	R-1 풀리	R-2 홀더	R-3 스터드
회전형			
	검사항목	검사내용	
	Point	길이, 두께, 지름 등	
	Exact point	높이, 두께	
	Line	각도	
	Surface	원형도	

그림 2. 검사부품의 종류 및 검사항목.

2.4.3 정보제공 방식

Manual방식은 전통적인 작업방식인 작업지시서와 설계도면을 통해 작업이 이루어진다. 2D방식은 작업순서에 따라 2차원적 정보를 PC를 통해 제공한다. 3D방식은 작업순서에 따라 3차원적 정보를 PC를 통해 제공한다. 마지막으로 AR방식은 AR디스플레이를 통해 측정부품 위에 측정정보가 결합되도록 설계되었다 (그림 3 참조)

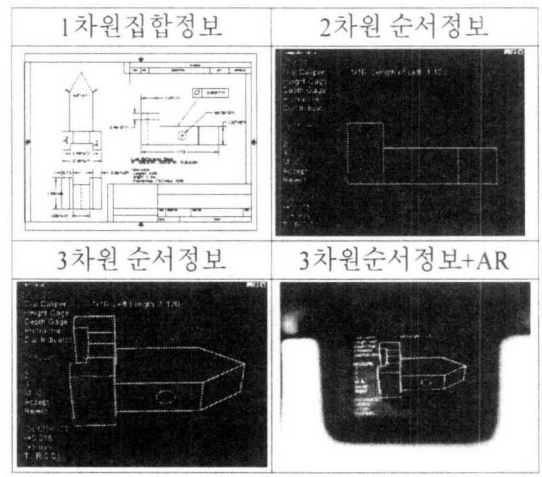


그림 3. 검사방식별 정보전달 형태

이들 정보제공 방식상에 차이가 검사시간과 검사오차상의 차이를 발생시키는 요인이 될 수 있다. Manual 방식에서는 설계도면상에 모든 정보가 한번에 표시되므로, 작업자는 집합정보 (Clustered Information) 중에서 현재 필요한 정보를 결정하여야만 한다. 따라서 Manual 방식은 알려진 정보의 (Target의 위치와 Target의 유형) 검색 (Search)과 2D정보를 3D정보로 변환하는 과정을 필요로 한다. 2D방식은 검사정보가 지정된 최적 작업순서에 따라 순차적으로 제공됨에 따라 Search과정이 생략될 수 있다. 3D방식은 Search와 2D정보의 정보변환과정을 필요로 하지 않는다. AR 방식은 3D방식의 장점과 함께 부품과 설계도면의 정보를 결합하여 정보의 병렬처리를 가능하게 한다.

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

3. 결 과

3.1 검사시간

검사시간에 대한 분산분석 (ANOVA) 결과는 표 2와 같다.

표 2. 검사시간-측정오차 ANOVA 결과

Source	df	평균검사시간		평균측정오차	
		F	p	F	p
Between					
검사방식(M)	3	13.46	.00*	0.32	.81
피실험자(S/M)	20				
Within					
부품유형(P)	1	1.86	.19	9.36	.01*
M×P	3	0.76	.53	0.17	.92
P×S/M	20				
검사항목(A)	3	149.80	.00*	34.22	.00*
M×A	9	9.45	.00*	2.02	.06
A×S/M	60				
P×A	3	3.58	.02*	29.79	.00*
M×P×A	9	1.08	.39	5.02	.00*
M×P×A×S/M	60				
합계	191				

주요인 (Main Effect)에서는 검사방식(M)과 검사항목(A)이 유의하였으며, 교호작용에서는 검사방식(M)×검사항목(A), 부품유형(P)×검사항목(A)이 유의하였다.

표 3. 방식별 평균검사시간 (단위: 초)

방식	Point	Exact	Line	Surface
Manual	77.4	272.7	179.2	134.0
2D	64.0	196.1	107.9	101.7
3D	61.3	222.0	124.9	119.3
AR	52.6	109.5	105.6	100.6

표 3에서 보는 바와 같이 AR방식은 검사항목에 관계없이, 가장 적은 시간이 소요되었다. 검사방식간에 유의한 차이가 있는가를 분석하기 위해 Post-hoc Test가 수행되었다. Bonferroni t-Test 결과는 Point측정에 가장 적은 시간이 소요되고, Exact Point 측정에 가장 많은 시간이 소요됨을 보여 주었다 ($p < 0.05$).

검사방식(M)과 검사항목(A)의 교호작용 결과는 Line에 대해서는 Manual 방식이 다른 3가지 방식보다 시간이 많이 소요됨을 보여준다.

그러나, Point, Exact Point, Surface의 경우에는 검사방식간에 유의한 차이가 없었다. 부품유형(P)과 검사항목(A)의 교호작용에서는 Surface의 경우에만, 회전형 부품의 측정에 시간이 많이 소요됨을 보여주었다.

3.2 측정오차

표 2는 주요인 (Main Effect)에서는 부품유형(P) 과 검사항목(A)이 유의함을 교호작용에서는 부품유형(P)×검사항목(A)이 유의함을 보여준다. 이는 모든 검사방식(M)간의 측정오차에는 차이가 없으며, 부품유형(P)과 검사항목(A)의 측정오차에 차이가 있음을 의미한다.

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

표 4와 같이 Bonferroni t-Test 결과는 Exact Point와 Line의 측정오차가 Point와 Surface 측정오차보다 큰 것으로 나타났다 ($p < 0.05$). 부품유형(P)과 검사항목의 교호작용의 결과는 표4에서 보는 바와 같이 Point와 Surface 측정의 경우, 각형 부품의 측정오차가 회전형 부품보다 큰 것으로 나타났다.

표 4. 방식별 평균측정오차 (단위: inch)

방식	Point	Exact	Line	Surface
각형	0.214	0.618	0.602	0.367
회전형	0.080	0.728	0.833	0.074

4. 토의 및 결론

본 실험의 결과는 AR을 이용한 검사시스템이 검사시간을 절감할 수 있음을 보여 주었다. AR시스템은 측정정보를 부품상위에 직접 투영하여, 부품자체에 측정정보를 포함하는 효과를 제공할 수 있었다. 작업자는 두 개의 다른 정보를 동시에 처리함으로써, 효율적인 작업수행이 가능하였다. AR검사는 특히 Exact Point와 같이 마킹과 클리닝을 필요로 하는 경우에 매우 효과적이었다 (Chung et al, 2002). Manual 방식이 가장 오랜 시간을 필요로 하는 이유는 설계도면 위에 모든 정보가 함께 표현되어, 작업자가 검사항목을 결정하는데 추가적인 시간이 필요했기 때문이다. 한편 2D과 3D방식간에는 작업시간에 유의한 차이가 없었다. 두 방식은 정보표현방식의 차이 외에는 모든 실험조건이 동일하므로, 이 결과는 작업자가 3D와 2D정보의 해석에 동일한 수준의 시간을 소비했음을 의미한다. 본 실험에 사용된 부품의 형태가 비교적 단순하여, 작업자가 2D 정보를 3D 물체로 변환하는데 큰 어려움을 느끼지 못했기 때문인 것으로 추론된다.

한편 AR 검사시스템은 측정오차의 개선에는 효과가 없었으며, 평균측정오차는 네 가지 방식간에 차이가 없었다. 이는 네 가지 검사방식 모두 동일한 측정메커니즘을 갖기 때문이다. 검사방식간에는 정보전달 양식에만 차이가 있으며, 동일한 측정기구와 측정방법에 의존하여, 측정오차에는 유의한 차이가 없었다.

본 실험의 결과는 AR이 검사시스템의 성능개선에 유용한 수단임을 보여주고 있으나, AR 기술을 실제 작업에 적용하기 위해서는 시스템 디자인 측면에서 다음과 같은 고려가 필요하다.

첫째, 동 실험에서의 주요한 성능평가 기준은 검사시간과 측정오차였다. 그러나 정성적인 부품특성에 대한 평가 (예, Defects)가 중요한 Visual Inspection의 경우에는 검사에러가 보다 중요한 평가기준이 될 수 있다. 이외에도 시스템의 경제성, 안정성, 유연성 등에 대한 고려가 필요하다. 새로운 시스템의 개발은 추가적 비용을 필요로 하므로, 성능개선의 경제적 효과가 투자비용 이상의 효과를 가져올 수 있어야 하기 때문이다(Chung et al, 2002). 또한, 개발된 시스템이 기존의 업무에 안정적으로 적용될 수 있는가, 업무변화에 유연하게 대응할 수 있는가 하는 것들에 대한

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

고려가 필요하다.

둘째, AR 시스템 설계시 AR의 기술적인 한계에 대한 고려가 필요하다. 대부분의 상업용 트랙커 (Tracker)는 측정부품과 정보와의 정확한 Registration 제공에 문제를 보여주었다 (Azuma, 1997). 가상현실의 경우 작업자가 개별정보의 Registration상의 오류를 인지하지 못하는 반면, AR의 경우에는 실물과 가상정보간의 미세한 오차도 쉽게 인지될 수 있기 때문이다. AR은 높은 수준의 Registration이 필요하지 않은 업무나, 고정형 업무(Static Task)에 적용이 상대적으로 용이하다.

셋째, 주변정보가 중요한 업무의 경우에는 AR의 이용이 부적합할 수 있다. 대부분의 AR 디스플레이는 한정된 가시영역 (Field-of-View)으로 사용자의 시야를 제한하며, 그 결과 외부 정보에 대한 부분적 손실을 초래한다. 외부정보의 차단은 작업자의 안전 및 경계에 대한 소홀로 이어지므로, AR 시스템은 이러한 부정적 요인을 최소화할 수 있도록 디자인되어야 한다.

참고 문헌

Azuma, R. T., A survey of augmented reality. Presence: *Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355-385, 1997.

Bajura, M., Fuchs, H., & Ohbuchi, R., Merging virtual objects with the real world: Seeing ultrasound imaginary within the patient, *Computer Graphics ACM SIGGRAPH*, 203-210, 1992.

Chung, K. H., Shewchuk, J. P., & Williges, R. C., An application of augmented reality to thickness inspection. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 9(4), 31-342, 1999.

Chung, K. H., Shewchuk, J. P., & Williges, R. C., An analysis framework for applying virtual environment technology to manufacturing tasks. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 12(4), 335-348, 2002.

Feiner, S., MacIntyre, B., & Seligmann, D.,Knowledge-based augmented reality, *Communication of the ACM*, 36(7), 52-62, 1993.

Goesch, T., Head up displays hit the road. *Information display*, 7(8), 10-13, 1990.

Martin-Emerson, R., & Wickens, C. D., Superimposing, symbology, visual attention, and the head-up display. *Human Factors*, 39, 581-601, 1997.

Newman, R. L., Heads up displays: *Designing the way ahead*. Brookfield, VT: Ashgate, 1995.

Shewchuk, J. P., Chung, K. H., & Williges, R. C., Virtual environment in manufacturing (pp. 1119-1142). In K. Stanney (Ed.), *Handbook of Virtual Environments*. NJ: Lawrence Erlbaum, 2002.

Sims, D., New reality in aircraft design and manufacturing, *IEEE Computer Graphics and Application*, 14(2), 91, 1994.

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

Wickens, C. D., & Hollands, J. G., *Engineering psychology and human performance*. (2nd ed.). New York, NY: Harper Collins Publishers, 1999.

Wickens, C. D., & Long, J., Object versus space-based models of visual attention: Implications for the design of head-up displays. *Journal of Experimental Psychology, 1*, 179-193, 1995.

저자 소개

◈ **정경호**

한양대학교 산업공학교 학사
서울대학교 산업공학과 석사
Virginia Polytechnic Institute and State University 산업공학과 박사
현 한국정보보호진흥원 전략개발팀장
관심분야: HCI, VR, AR, 정보통신, 정보보호, 산업정보 응용

논문접수일 (Date Received): 2003/11/08
논문게재승인일(Date Accepted): 2003/12/05

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.