

전과정평가(LCA)에 기반한 터치스크린 모니터 스탠드의 친환경적 기구설계 Eco-Friendly Mechanical Design of Touch-Screen Monitor Stand through Life-Cycle Assessment(LCA)

이화조¹, 장운근², 한훈³, 조영래⁴, 전찬곤⁵
Hwa-Cho Yi¹, Woon-Geun Jang², Hoon Han³, Young-Rae Jo⁴, Chan-gon Jeon⁵

<Abstract>

Recent years, many industries acknowledge that environmental substantiality of products must be an essential role and it is one of the major importances for industries to consider the environmental impacts of products at the early stages of product development. This study investigated eco-design parameters and CO₂-eq. emissions in each stage of raw material acquisition, manufacturing, transportation, use and disuse in life cycle of touch monitor stand based on Eco-Design. In this study, to fulfill of Eco-Design, the environmental impact assessment of through LCA(Life cycle assessment) was carried out with benchmarking monitor stand and we suggested the direction of new design of touch monitor stand mechanism based on eco-friendly considerations.

New design based on LCT(Life Cycle Thinking) showed that the following eco-friendly considerations at the early stage of design to be helpful to reduce GWP(Global Warming Potential) [kg CO₂-eq.] in new monitor stand development and it is necessary for Eco-Design process of the product.

Keywords : Eco-Design, Life Cycle Assessment(LCA), Monitor design

1. 서 론

산업화활동으로 인한 환경파괴가 인간뿐만 아니라 지구적인 악영향을 미치면서 환경악화에 대한 경각심이 고조되고 있는 가운데 범지구적인 환경활동이 그 어느 때보다 활발하게 진행 중에 있다. 그 한 가지 예로 EU에서는 국제환경법(International Environmental Law)에 의하여 수출하는 모든 주력 수출품들에 대한 환경적인 규

제가 강화되고 있는 실정이며 이러한 국제적인 환경적인 동향에 부응하여 에코디자인(Eco-Design)과 더불어 전과정평가(Life-Cycle Assessment, LCA)의 중요성이 부각되고 있다. 전과정평가란 ISO14040s로 제정된 환경경영국제 표준화로서 모든 제품을 만드는 데 있어서 전 과정(원재료 취득, 제조, 운송, 사용, 폐기)의 투입물과 배출물을 정량화하고 잠재적인 환경영향을 평가하는 기법이다.¹⁾ 이를 통하여 제품의 전 과

¹영남대학교 기계공학과

²교신저자, 영남이공대학교 기계계열, E-mail:baja2000@yc.ac.kr

³영남대학교 유기신소재공학과

⁴영남대학교 전기공학과

⁵영남대학교 환경공학과

¹Mechanical Engineering, Yeungnam Univ.

²Corresponding author, Div. of MET, Yeungnam College of Science & Technology

³Department of Advanced Organic Materials, Yeungnam Univ.

⁴Department of Electrical Engineering, Yeungnam Univ.

⁵Department of Environmental Engineering, Yeungnam Univ.

정에서 생길 수 있는 환경피해를 줄이면서 제품 기능과 품질 경쟁력을 높이도록 하는 환경 친화 디자인의 제품을 설계하고 기획하는 과정에서부터 에코디자인은 시작된 다해도 과언이 아니다. 이로써 얻어지는 효과로는 궁극적으로는 제품의 환경성을 개선하여 지속 가능한 발전을 이룰 수 있으며 보다 실질적인 효과는 기업차원의 제품설계 단계에서 각국의 환경규제를 고려하여 제품을 생산함으로써 국제적인 규제에 능동적으로 대처할 수 있다는 점이다.¹⁾

본 연구에서는 터치스크린 모니터 스탠드에 대하여 전과정평가를 통한 환경 정량적인 평가를 수행한 후 개선 전략을 제안하였다. 또한, 개선 전략 시에는 모니터 스탠드의 기구적 동작성능을 함께 고려하여 사용자 편의를 고려한 디자인을 제안하고자 하였다.

2. 연구적용대상

2.1 벤치마킹대상 선정과 전과정평가 분석

본 연구에서는 터치스크린용 모니터 스탠드의 기구설계의 친환경설계분석을 위해 기존 시중에 시판되고 있는 H사의 터치스크린 모니터 스탠드를 선정 하였다(Fig. 2). 최근 들어 터치패널 모니터는 터치기술의 발전으로 인해 점점 더 증가하고 있는 실정이며 그에 따라 모니터 스탠드에는 기존의 Tilt, Swivel, Height 기능 이외의 터치사용을 위한 터치사용 전환 메카니즘이 필요하다. 보기만 하는 기능의 기존 PC 모니터 스탠드가 아닌 다양한 조작을 해야 하는 터치스크린 모니터 스탠드는 기구적 동작 성능이 그만큼 중요한 부분이다. 따라서 메카니즘 자체도 기구적학으로도 복잡해지게 되며 스탠드를 구성하는 부품의 종수도 점점 더 증가하게 되며 환경적인 측면에서 볼 때는 더욱 더 불리해 지는 경향을 나타내게 된다.

본 연구에서는 터치패널용 모니터인 H사 스탠드 모델의 성능 평가를 수행하고 제품 개발 단계 중 환경에 미치는 영향이 가장 큰 단계와 부품 파악하고 친환경적 제품 설계 개선전략을 제안하기 위한 전과정평가를 위해 환경산업기술원의 에코디자인 프로세스와 선행연구를 일부 활

용하였다.^{2,3)}

분석을 위해 우선 모니터의 전체 무게를 대상으로 운송에 대한 환경성 분석을 하였으며 모니터 전체에 대한 분석이 아닌 모니터 스탠드의 기구설계만을 분석 대상으로 삼고 있어 사용 중 에너지 소비량은 개선 전후에 변화가 없다고 가정하며 기존 제품의 스탠드에 대해 제품 모델링, 제품환경성 분석을 수행하고, 제품의 환경성이 높은 부품을 개선 대상 부품으로 선정한 후 개선대상 부품 도출, 전략 및 과업 도출, 개념 설계순서 및 기구설계 순으로 진행하였다.

2.2 벤치마킹 터치스크린 모니터 스탠드의 전과정 평가 및 분석

본 연구에서는 터치스크린 모니터 스탠드의 기구적 동작 성능을 유지함과 동시에 친환경적 제품설계를 위하여 환경산업기술원에서 제작한 에코디자인 프로세스를 활용하였으며 Fig. 1.을 이를 이용하여 스탠드 제품 전 과정을 보여주고 있다.⁽²⁾ 이러한 전과정 평가를 통해 소비되는 총 에너지를 줄이는 방향으로 친환경적 제품설계를 진행하고자 한다.

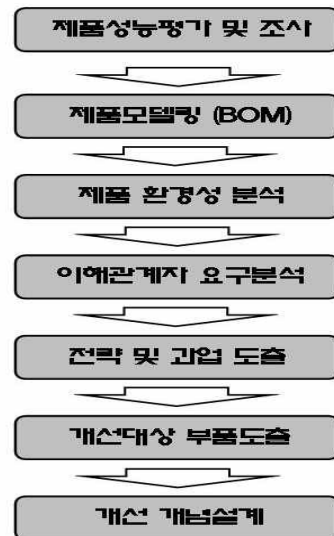


Fig. 1. LCA process for Eco-design(환경산업기술원, 2010)



Fig. 2. Features of Touch screen monitor for benchmarking.

우선 제품의 성능 평가 및 조사를 위해 연구에 사용된 모니터 스탠드의 기구적 동작성능에 대한 측정을 통하여 기본적으로 모니터 스탠드가 가지고 있는 성능을 파악하였다. 제품의 성능평가는 벤치마킹 대상 제품의 기본동작인 Tilt 기능, Pivot 기능과 터치 패널 사용을 위한 모니터 화면 전환 기능인 모니터 스탠드 전환 메카니즘인 Touch transform mechanism 기능을 평가하였다. Table 1.과 Table 2. 는 각각 측정된 결과를 나타내었다. 측정에 사용된 기구로는 Push-Pull Force Gauge를 이용하여 모니터 기구적 동작 조작 시 사용되는 힘(kgf)을 측정하고 터치스크린전환 기능을 분석하였다. Fig. 3.은 연구에 사용된 제품의 기구동작에 대하여 나타냈다.

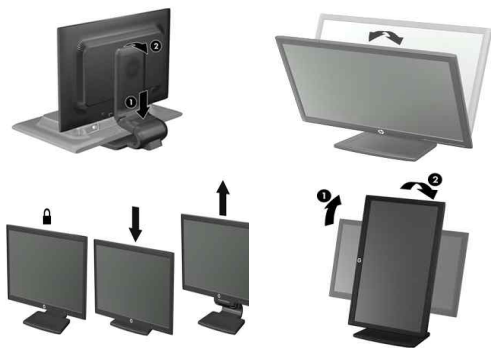


Fig. 3. Basic motion performance of Benchmarking monitor.

Table 1. Measurement of motion performance

동작 기능	Pivot		Tilt		Touch 전환기능
	시계 방향	반시계 방향	전	후	
동작 방향	시계 방향	반시계 방향	전	후	작동
동작 각도	90°	45°	-5°	30°	-

Table 2. Measurement of motion force

동작 기능	동작 방향	Force (kgf)
Pivot	시계방향	2.70±0.11
	반시계방향	2.78±0.07
Tilt	앞	2.00±0.05
	뒤	1.85±0.04
Hight	위	2.06±0.09
	아래	1.45±0.06
Fold	앞	2.61±0.04

* (6회 측정의 평균)±(6회 측정의 표준편차)

제품의 분석을 위한 기초적인 데이터를 얻기 위해 제품의 기본적인 성능평가가 끝나면 에코디자인 프로세스에 적용하기 위해 물리적인 데이터로 재구성하는 작업을 수행하여 제품의 기초 데이터를 수집하여 DB화시키는 과정인 제품모델링과정을 거친다. 기존 벤치마킹 대상 제품의 모델링을 실행하기에 앞서 에코디자인 프로세스에 기반하여 제품정보를 수집하기 위해 제품을 부품단위로 분해하여 스탠드 부품들을 분해하여 각 분해 단계별, 부품명, 부품별 중량, 분해시간, 재질 등을 작성하여 제품의 BOM(Bill Of Materials)을 작성하였고 재활용률, GWP 및 재활용 중량과 같은 환경 특성을 수집하고 제품에 사용된 원재료의 목록을 작성하고 환경성 파라미터의 정보를 수집하였다.

분해된 모니터 스탠드의 총 부품수는 5레벨 53종 (Level1 : 1종, Level2 : 8종, Level3 : 5종, Level4 : 28종, Level5 : 11종)으로 나타났으며 Fig. 4.는 본 연구제품의 분해 과정과 분해 완료된 모습을 나타내었다.



Fig. 4. Exploded components of benchmarking monitor stand.

BOM을 통한 제품의 분해 및 모델링작업 후 제품 환경성 분석을 실시하였다. 제품 환경성 분석을 통해 제품의 전 과정 중 환경에 부정적인 영향을 미치는 파라미터를 규명하기 위해 원재료 취득 단계, 제조단계, 운송단계, 사용단계, 폐기단계에 걸쳐서 전과정사고(Life Cycle Thinking, LCT)를 적용하여 투입물과 배출물을 조사하여 개선대상의 환경성 파라미터를 도출하는 단계를 거쳐 터치스크린 모니터 스탠드의 환경성 분석을 수행하였다. 벤치마킹대상인 제품의 사용된 원재료를 기반으로 하여 원재료취득단계에서의 환경성 파라미터를 분석하고 제조단계에서는 대부분의 기구제품의 커버를 이루고 있는 플라스틱제품 제조를 위한 사출성형제조공정(Injection Molding), 프레스물 제조를 위한 프레스제조공정(Press), 다이캐스팅(Aluminum Diecasting) 제조공정 그리고 제조단계 중 40KWh의 전동공구를 이용하여 스크류를 체결 시 전기에너지 소모량을 기본으로 하여 제조사의 공정으로 산정하여 분석을 하였다.

Table 3.는 대상 제품의 제품 환경성 분석결과에서 나온 전과정 단계별 탄소 배출량이다.

다음 단계로 이해관계자 요구사항을 만족시키기 위한 환경성 파라미터를 도출하기 위하여 환경품질기능단계(Environmental Quality Function Deployment, EQFD)를 수행하였다.

Table 3. 전과정 단계별 CO2-eq 값 비교

Life Cycle단계	kg CO2-eq.
원재료취득단계	18.53
제조단계	1.71
운송단계	1.38
사용단계	0.00
폐기단계	-9.58
합계	12.07

개선대상 부품선정은 이해관계자의 요구사항과 제품특성, 그리고 제품구성부품 간의 상관관계를 조사하는 QFDE를 활용하여 제품특성의 각 항목에 대한 가중치를 부여하고, 2단계에서는 1단계의 가중치를 반영하여 개선 대상을 선정한다. Table4 , Fig. 6.는 EQFD를 수행한 결과이다.

Table 4. Environmental Quality Function Deployment

환경성 파라미터	원재료 사용		제품 제조		제품 운송		제품 사용			제품 폐기								
	사용량	단위	제조 중 에너지 소비	제품 무게	운송 중 에너지소비	사용 중 에너지소비	사용 수	사용 수/연간 소비량	사용 수/연간 소비량 이상	재활용률	분해 시간	부품 재질 명칭						
환경성 파라미터	9	9																
환경성 파라미터	9	9	3			3	1											
환경성 파라미터	9	9								9								
환경성 파라미터	9	9	3	9	3	3					9							
환경성 파라미터	3		3		1	9			9	9	3	9						
환경성 파라미터	9			9	9	9			9	9	3	3						
환경성 파라미터	9			9	9	9					9							
환경성 파라미터	9		9						3	9	3	9						
합계	-108	81	144	0	162	111	135	108	9	0	0	135	188	108	117	216	135	0
가중치	-6.1	4.8	8.2	0.0	9.2	6.3	7.7	6.1	0.5	0.0	0.0	7.7	10.8	6.1	6.7	12.3	7.7	0.0

-중요도 점수 부여(1:중요하지 않음, 3:중요함, 5:매우중요함), 상관관계 점수부여(1:약간 관계있음, 3:관계있음, 5:매우 관계있음)

EQFD 결과 본 연구에서는 가중치가 7이상이 되는 부품수, 수리성, 제품중량, 제조 중 에너지 소비량, 부품체결방식, 사용편이성 및 Life cycle 상의 첫 출발이 되는 원재료취득과 관련하여 사용된 원료물질을 주요 개선 환경성 파라미터로 선정하였다.

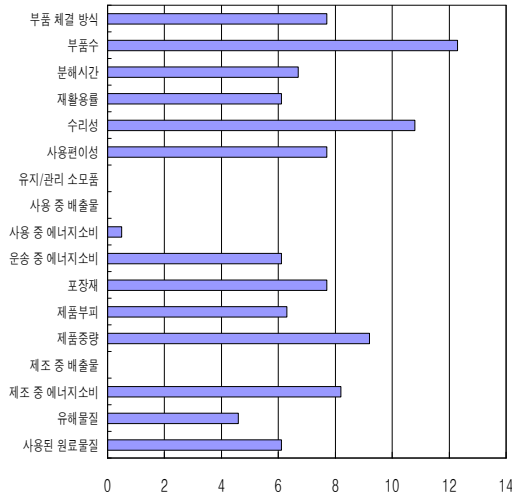


Fig. 5. The result of EQFD.

2.3 모니터 스탠드의 환경성을 고려한 설계 개선 방안

EQFD에서 선정한 부품수, 수리성, 제품중량, 제조 중 에너지소비량, 부품체결방식, 사용편이성 및 원재료취득에 대해서 부품단위의 개선대상을 선정하고 환경적으로 개선이 필요한 부품을 선정하여 설계에 반영하였다. EQFD에서 도출된 개선안을 근거로 하여 설계개선을 위한 과업으로 기본동작성 및 사용편이성 만족, 부품수감소와, 제조중 에너지소비량감소, 원재료취득절감감소방안으로 선정하고 설계요구조건과 개선전략을 도출하였다. Table 5. 는 각각의 과업에 대한 설계요구조건과 개선전략을 나타내고 있다.

개선전략을 근거로 우선 벤치마킹대상 모델의 터치스크린전환 장치를 기존의 부품수를 대폭 줄이기 위해서 새로운 기구메카니즘을 제안하였다. 기존 제품의 터치스크린 전환 방식은 사용자가 터치사용모드로 전환 시 전환을 위한 각도를 변경한 후 소비자가 높이 조정기구를 이용하여 높이를 다시 내린 후 터치기능을 사용하도록 설계되어있다. 이러한 동작을 위해서 높이조정기구 메카니즘이 필요하게 되는데 이 메카니즘은 상대적으로 부품수를 증대시키는 역기능으로 인해 새로운 메카니즘에서는 이 기능을 삭제함과 동시에 스탠드바디가 터치를 위한 고정지지대의 역할을

하도록 고안하였다. 이렇게 함으로써 동작성만족과 사용편이성을 만족시킬 수가 있었고 Touch 사용 시 소비자의 터치하중에 의해 터치 뷰잉 각도의 변화가 없이 고정 될 수가 있으며 또한 Touch 사용 시 소비자의 터치하중에 대해서 충분히 견딜 수 있도록 설계되었다. Fig. 6.은 기존 스탠드의 터치전환 메카니즘과 새로 구상한 터치전환 메카니즘을 나타내고 있다. 벤치마킹대상인 모니터 스탠드의 Tilt hinge는 Friction disk를 이용한 Type이므로 부품의 종수도 증대하는 만큼 조립공수도 증대하게 되므로 기존의 연구대상 제품과 동일한 Tilt 성능을 가지면서 설계과업을 만족시키기 위해서 상대적으로 부품수가 적으면서 성능을 만족시킬 수가 있는 Curling type hinge를 Tilt hinge 메카니즘으로 사용하였다. Fig. 7.은 모니터본체의 각도를 조정하는 Upper Tilt hinge 메카니즘과 터치전환메카니즘에 사용되는 Lower Tilt hinge 메카니즘이다.

Table 5. Design Requirements of new design

과업	설계요구조건과 개선전략
동작성만족 및 사용편이성	-Tilt 동작각도는 SPEC의 만족여부 -Touch 전환기능의 편이성 만족 -Touch 사용 시 소비자의 터치하중에 의해 터치 뷰잉 각도의 변화가 없을 것 -Touch 사용 시 소비자의 터치하중을 충분한 견딜 수 있는 구조방안 필요
부품수 감소	-Height 기능의 삭제 또는 대폭축소 설계 -동일 하중 하에서의 동작기능성 이상유무 -플라스틱 구조 기구설계 증대
제조중 에너지소비량 감소방안	-조립 부품수의 감소 -체결구조의 개선(전동드라이버 사용축소) : 스크류체결 → 래치체결
원재료취득 절감방안	-플라스틱 커버의 스프레이삭제 -EGI 프레스물 감소 및 HGI사용 -재료사용량 감소 설계

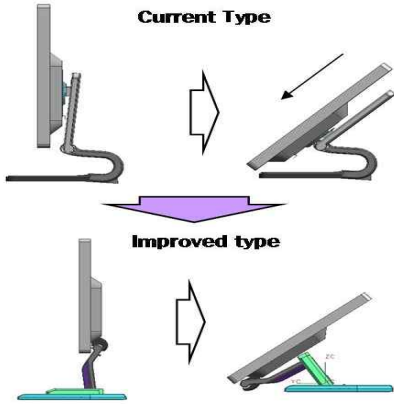
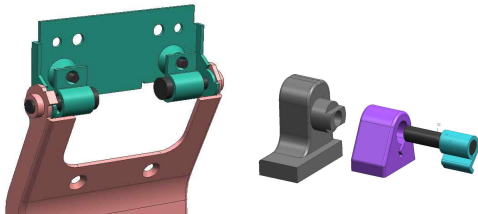


Fig. 6. Touch transform mechanism.



(a) Upper Tilt hinge (b) lower Tilt hinge

Fig. 7. Tilt hinge mechanism.

2.4 설계 개선된 모니터 스탠드의 친환경성 분석

개선전략을 근거로 개선설계한 스탠드를 전과정평가를 기반으로 하여 친환경성분석을 하였다. 분석을 위하여 제품은 3D CAD인 UG NX6를 통해서 설계 모델링하였다. 3D CAD 시스템에서 각각의 부품들의 물성치를 부여하여 부품들의 중량을 계산하였다. 개선설계 대상 제품을 에코디자인 프로세스에 기반하여 제품정보를 수집하기 위해 제품을 부품단위로 분해하여 스탠드 부품들을 분해하여 각 분해 단계별, 부품명, 부품별 중량, 분해시간, 재질 등을 고려하여 제품의 BOM(Bill Of Materials)을 작성하였고 분석 결과 분해된 모니터 스탠드의 총 부품수는 3레벨 23종 (Level1 : 1종, Level2 : 13종, Level3 : 12종) 및 조립에 사용된 스크류 수는 26개로 나타났다. Fig. 8.는 개선 설계된 스탠드의 부품들

이다.

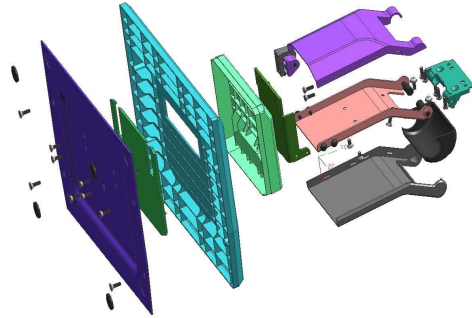


Fig. 8. Explode view of new stand design.

모델링된 제품을 기준으로 제품의 재활용률, GWP 및 재활용 중량과 같은 환경 특성을 수집하고 제품에 사용된 원재료의 목록을 작성하고 환경성 파라미터의 정보를 분석하였다. Table 6.은 개선 설계된 모니터 스탠드의 환경성 분석 결과이다.

Table 6. 전과정 단계별 CO₂-eq 값 비교

Life Cycle단계	kg CO ₂ -eq.
원재료취득단계	7.41
제조단계	1.99
운송단계	1.34
사용단계	0.00
폐기단계	-6.77
합계	3.97

벤치마킹 대상인 기존의 터치스크린 모니터 스탠드와 개선설계한 모니터 스탠드의 주요환경 특성을 분석한 결과 기존 제품의 재활용률은 각각 94%로 차이를 보이지 않았다. 이는 대부분의 기구부품은 재활용률이 타 전기전자 소비자 부품에 비해 재활용성이 용이한 플라스틱, 메탈 및 알루미늄 등이 주재료로 사용되는 것에 기인한다고 볼 수가 있으며 원재료취득단계에서는 CO₂-eq. 배출량이 기존 18.53kg CO₂-eq.대비 60% 감소한 7.41kg CO₂-eq.을 나

타내고 있으며 이는 새로운 설계안에서 기존의 냉간 CR강관에 전해아연도금처리를 한 EGI(Electrolytic Galvanized Iron)강관의 사용량을 줄이고 열연 용융아연도금법으로 표면처리 한 열연 용융아연도금강관인 HGI(Hot Galvanized coil)와 플라스틱 구조로 대체함에 기인하며 사용 중 에너지 소모량은 전기소모가 없는 스탠드 부분만을 고려하였으므로 CO₂-eq. 배출량 비교는 고려하지 않았다. 운송단계에서는 제품의 중량을 감소코자 설계를 하였으나 기존 대비 크게 유의하지 않은 차이가 나타나고 있어 동일한 수준으로 나타나고 있다. 특히 제조단계에서의 CO₂-eq. 배출량은 기존 대비 2.9% 정도 상승한 것으로 개선되지 않은 것으로 나타났는데 체결 구조 개선을 위해 스크류 사용량을 줄이는 것만으로는 크게 제조단계에서의 CO₂-eq. 배출량을 줄일 수가 없었으며 사용하는 재료 중 다이캐스팅재료의 제조 중 CO₂-eq. 배출량이 더 유의한 차이를 나타내고 있으므로 다이캐스팅 부품을 프레스물로 대체 설계가 필요한 것으로 사료된다. 전체적으로 볼 때 GWP(Global Warming Potential)인 탄소배출량은 Table 4. 와 같이 기존 스탠드는 각 단계별 총 12.07kg CO₂-eq.를 나타내고 있으며 개선 제안된 새로운 설계안은 3.97kg CO₂-eq. 를 나타내고 있어 신규 제안된 설계가 기존 대비 32.8% 감소된 결과를 나타내고 있어 새롭게 제안된 모니터의 스탠드가 보다 친환경적인 설계가 되었다고 볼 수가 있다. Fig. 9.는 개선전후의 모델의 3D CAD모델링이며 Fig .10.은 두 모델에 대한 탄소배출량을 비교한 결과이다.

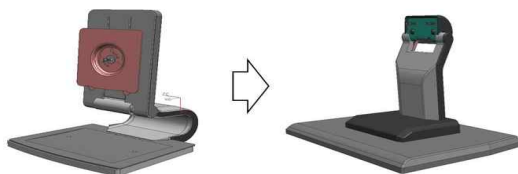


Fig. 9. 3D CAD Features of old & new monitor stand design.

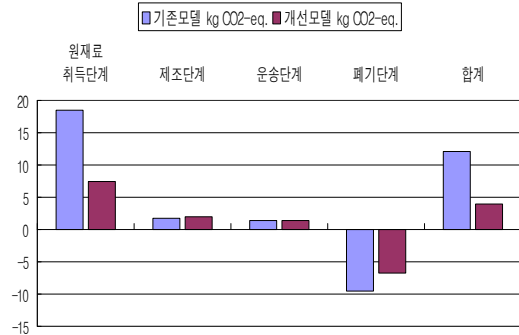


Fig. 10. Comparison of CO₂-eq. of old & new design.

3. 결과 및 고찰

(1) 본 연구에서는 전과정평가 (Life-Cycle Assessment, LCA)를 기반으로 하여 터치스크린 모니터 스탠드의 친환경적 제품설계를 위하여 환경산업기술원에서 제작한 에코디자인 프로세스를 활용하여 벤치마킹대상인 기존의 모니터 스탠드 제품 전 과정에 걸쳐 환경성평가를 시행하였다.

(2) 터치스크린 모니터 스탠드의 기구적 동작 성능을 기존과 동일하게 유지함과 동시에 친환경적 제품설계를 위하여 이러한 전과정 평가를 통해 소비되는 총 에너지를 줄이는 방향으로 친환경적 제품설계를 진행한 결과 제품의 재활용률은 각각 94%로 차이를 보이지 않았으며 원재료취득단계에서 탄소배출량이 기존 18.53kg CO₂-eq. 대비 60% 감소한 7.41kg CO₂-eq., 운송 단계에서는 제품의 중량 감소효과가 기존 대비 유의차이가 없는 것으로 나타났고 제조단계에서의 탄소배출량은 기존 대비 2.9% 정도 상승하였으나 전체적으로 볼때 GWP(Global Warming Potential)인 탄소배출량은 기존 스탠드 대비 각 단계별 총 12.07kg CO₂-eq.에서 3.97kg CO₂-eq.로 감소하여 신규 제안된 설계가 기존 대비 32.8% 감소된 결과를 보이고 있어 새롭게 제안된 모니터의 스탠드가 보다 친환경적인 설계가 되었다고 볼 수가 있다.

- (3) 이러한 친환경설계를 구현하기 위하여 전과정평가 (Life-Cycle Assessment, LCA)를 기반한 설계개선방안이 소비자 제품의 기구설계분야에서도 유용하게 활용될 수가 있음을 확인 할 수가 있었으며 향후 최적설계의 별도의 요인으로 고려할 수 있는 최적설계방안도 연구 할 계획이다.
- 3) 이지형 외, “전과정평가를 통한 스탠드형 전기온풍기의 친환경적 제품 설계 개선 전략“, 대한산업공학회/한국경영공학회, (2012)
- 4) 최영근 외, “에코디자인 프로세스를 통한 날개 없는 선풍기의 환경영향 평가 및 개선전략 제안“, 대한산업공학회/한국경영공학회 2012년 춘계공동학술대회, (2012)

참 고 문 헌

- 1) 한상복, 송복희, 제품의 친환경적 디자인 개발을 위한 환경영향평가 적용 방안 - 자동차 FOG LAMP HOUSING 사례분석을 중심으로, 디자인학연구 Journal of Korean Society of Design Science 통권 제94호 Vol. 24 No. 1, (2010)
- 2) 환경산업기술원, “에코디자인 프로세스 적용 제품군별 매뉴얼”, (2010)

후기

본 연구는 환경부 에코디자인 전문인력양성사업 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

(접수:2012.10.15, 수정:2012.11.12, 게재 확정:2012.11.22)