



## 라미네이션 접합을 이용한 공작기계용 안전가드의 필름에 따른 내충격성에 관한 연구

이선빈<sup>a</sup>, 김성재<sup>a\*</sup>, 이영춘<sup>b</sup>, 정진욱<sup>a</sup>**Impact Resistance of Safety Guard for Machine Tools Using Lamination Bonding Films**Sun Bin Lee<sup>a</sup>, Seong Jae Kim<sup>a\*</sup>, Young Choon Lee<sup>b</sup>, Jin Uk Jung<sup>a</sup><sup>a</sup> Department of Mechanical Engineering, Dong A University<sup>b</sup> Chief in the Research & Development Center of Dae young CoreTech co., Ltd.**ARTICLE INFO***Article history:*

Received	30	April	2021
Revised	14	July	2021
Accepted	3	August	2021

*Keywords:*

Safety guard  
Polycarbonate  
Lamination method  
Impact resistance  
Film

**ABSTRACT**

Simple adhesive-type safety guards that are currently used are prone to inflow of cutting oil over time, which causes the polycarbonate to shrink. To address this problem, safety guards fabricated by the lamination method are used to prevent inflow of cutting oil and improve impact resistance. Such safety guards are expected to have different impact resistances depending on the mechanical strengths of the lamination films. Impact tests and analysis are thus used to confirm these impact resistance differences based on the bonding strengths of the lamination films. It is noted that the ductility of the material must be reflected in its bonding force and not the mechanical strength. In this study, the results were examined according to the bonding strengths of the lamination films analytically.

**1. 서론**

산업기술의 발전으로 정밀가공시스템은 다양화, 고속화, 자동화가 요구되고 있다. 이로 인해 공작기계에 대한 수요가 증가하며 대형, 고속가공이 가능한 공작기계에 대한 기대가 높아지는 추세이다. 이에 따른 작업자들의 안전을 고려한 공작기계 설계가 필요하다<sup>[1,2]</sup>.

기존에 사용되는 공작기계용 안전가드는 단순 접착식으로 수공업으로 제작된다<sup>[3]</sup>. 이는 시간이 흐름에 따라 유리나 폴리카보네이트 사이에 틈이 벌어지기 시작한다. 이 틈 사이로 절삭유의 유입이 일어나 폴리카보네이트의 부식이 발생하게 된다. 이는 폴리카보네이트의 기계적 강도를 현저히 떨어트리며 4년 동안 노출될 경우 폴리카보네이트의 충격저항이 60% 감소한다<sup>[3]</sup>. 이에 기존의 단순

접착식이 아닌 라미네이션 공법을 통해 압착형식의 안전가드를 개발하여 이러한 문제를 해결하였다.

라미네이션 공법을 이용한 공작기계용 안전가드(Fig. 1)의 충격 시험을 진행하던 중에 필름의 접착력에 따른 안전가드의 안전성에 관한 결과가 달라지는 것을 발견하였다.

본 연구는 필름의 접착력에 따른 공작기계용 등급 안전가드의 내충격성에 대한 분석 및 평가를 진행하였다.

**2. 연구 배경****2.1 기존 단순 접착식 안전가드의 문제점**

기존의 안전가드는 Fig. 2와 같이 단순 접착식으로 제작하여 공작기계에 부착한다<sup>[4]</sup>. 공작기계를 이용하여 공작물을 가공할 때 발

\* Corresponding author. Tel.: +82-51-200-5716

E-mail address: sjkim641@dau.ac.kr (Seong Jae Kim).

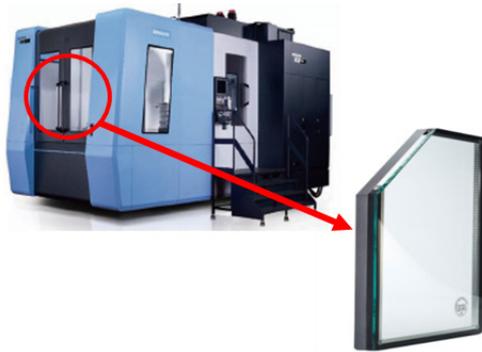


Fig. 1 Safety guard position for machine tools

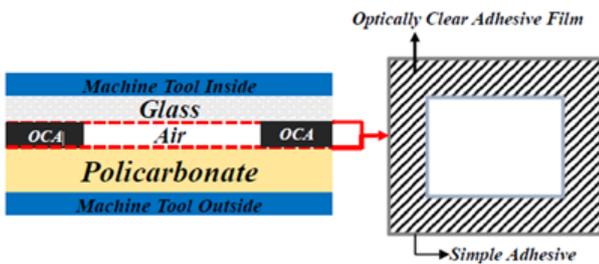


Fig. 2 Structure of the existing safety guard

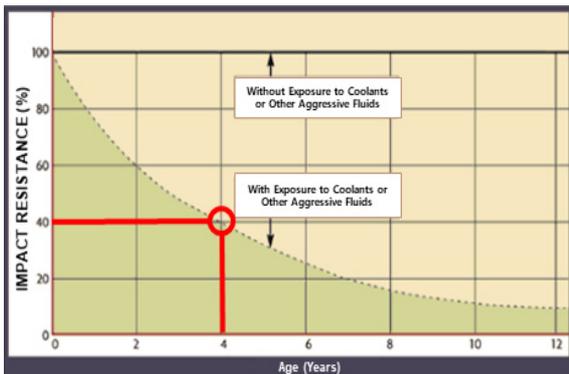


Fig. 3 Aging of polycarbonate windows in machine tools

생하는 진동에 의해 시간이 지날수록 폴리카보네이트와 유리의 틈이 발생하게 된다. 이러한 이유로 Fig. 3에 나타난 것처럼 4년이 경과할 경우 폴리카보네이트의 충격 흡수력이 60% 감소하는 것을 확인할 수 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 라미네이션 공법을 이용하여 안전가드를 제작, 폴리카보네이트와 유리가 압착되어 기존의 공작기계와 동일한 조건에서도 내구성이 유지되는 안전가드를 제작하였다. 위와 같은 안전가드의 설계 요소인 라미네이션 공법, 접착 필름 선정, 접착력 등의 여러 가지 방향으로 살펴보았다.

## 2.2 라미네이션 공법

새로 개발한 안전가드에 적용된 라미네이션 공법은 Fig. 4에서 나타난 것처럼 Roll to Roll 방식을 이용하여 폴리카보네이트와

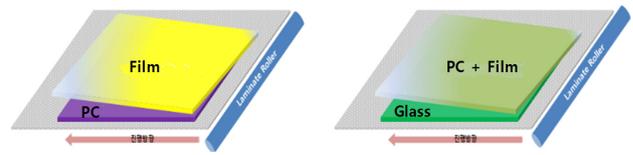


Fig. 4 Safety guard position for machine tools

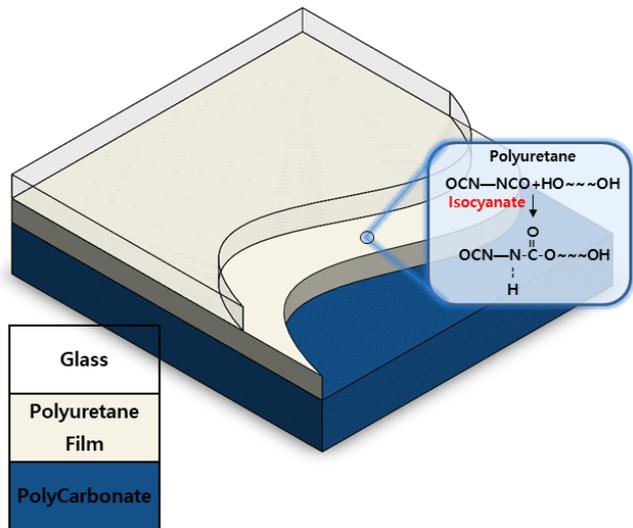


Fig. 5 Structure of safety guard applying lamination method

유리 사이에 필름을 배치하여 가공하는 방식이다. 라미네이션의 본뜻은 어떤 대상을 1겹 이상의 얇은 레이어를 덧씌워 표면을 보호하며 강도와 안정성을 높이는 기술을 말한다. 이런 기술을 이용하여 폴리카보네이트와 유리의 접합 면 사이의 틈이 벌어지지 않도록 제작하여 공작기계에 적용하는 방식이다. Fig. 5은 실제 라미네이션 공법을 적용한 대만의 공작기계용 안전가드 제품 내용이다.

본 연구에서 개발한 안전가드는 C3 등급의 공작기계용 안전가드이다. Fig. 4와 같이 폴리우레탄 필름을 적용한 것으로 KS규격 (KS B ISO 23125:2015) 중 가장 높은 강도 등급의 안전가드이다. 또한, TPU, PU, PET 3가지 종류의 필름을 적용하여 각각의 필름에 대한 내충격성을 분석하여 필름과의 상관관계를 분석하는 연구를 진행하였다.

## 3. 연구 내용

### 3.1 기초연구

안전가드에 대하여 충격 실험과 충격 해석의 정확성 및 일치하는 정도를 파악하기 위하여 시편 단위로 충격 시험을 진행하였다. 먼저 샤르피 충격 시험기를 이용하여 시편 단위의 실험을 진행하였다.

시험을 진행한 후 유사하게 충돌 해석을 진행하여 각각의 결과

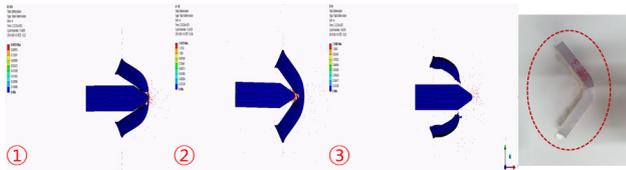


Fig. 6 Specimen shape of Charpy impact test

Table 1 CAE impact test data

Case	1	2	3	4	5	6	7
Specimen thickness [mm]	12	9.5	8	6	5	4	3
Before the impact test [J]	288.63						
After the impact test [J]	2.5	5.4	60.3	119.1	138.7	157.2	190.4
Absorption rate [%]	99.1	98.1	79.0	58.7	51.9	45.5	34.0

값을 비교하였다. 충격 시험 과정에서 이중 접합한 시편의 경우 시험이 제대로 이루어지지 않아서 단일 소재를 기준으로 진행하였다. 이러한 실험 데이터와 비교하기 위하여 Fig. 6형태로 모델링하여 해석프로그램은 Ansys Workbench를 이용하였으며, 총 7가지 case에 대하여 충돌 실험과 해석을 진행하였다. Table 1과 같이 3~12 mm 두께의 시험편을 288.63 J의 충격에너지를 가하여 충격 흡수량을 샤프리 충격 시험과 CAE 해석을 통해 얻은 데이터를 분석하였다. 해석 데이터의 경우 Table 1과 같이 충격 흡수율이 34%부터 99.1%까지 각 case에 따라 다양하게 도출되었다. 이 데이터는 실제 충격 시험의 결과 값과 매우 유사한 것을 확인할 수 있으며 오차범위 5% 이내에 속한다. 시험과 해석에 대한 데이터를 그래프로 Fig. 7과 같이 나타낼 수 있다. 따라서 충돌에 대한 CAE 해석 데이터가 유효함을 알 수 있다.

### 3.2 충돌시험 규격과 실험 과정

안전가드에 대한 충돌시험 해석은 Table 2와 같이 KS규격(KS B ISO 23125:2015)을 기준으로 진행하였다<sup>[4]</sup>. 시험에 사용되는 안전가드는 Fig. 8과 같이 450 mm × 450 mm의 크기를 적용하였으며 폴리카보네이트, 필름, 유리 순으로 적층 되어 있다. 탄환의 경우 전면부 치수는 30 mm × 30 mm, 지름 50 mm이며 2.5 kg, 전면부 필렛 각은 30°를 적용하였다. Table 2에 나타난 KS규격을 통해 C3 등급 기준 8000 J의 운동에너지가 전달되도록 설정하였다. 충돌시험에 사용된 안전가드의 소재별 두께의 경우 사전 조사를 통해 선전사의 D社 안전가드의 두께를 참고하여<sup>[3]</sup> 폴리카보네

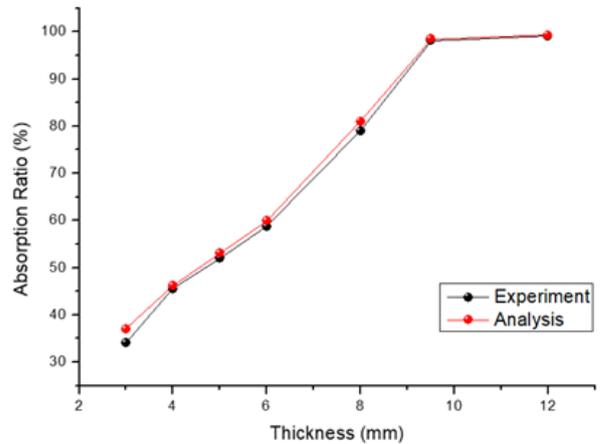


Fig. 7 Comparison graph of test specimen impact experiment and analysis data

Table 2 Strength grade of safety guard (KS standard)

Bullet dimensions [mm]	Bullet mass [kg]	Impact speed [m/s]	Impact energy [J]	Strength grade
50 × 30 (D × a)	2.50	50	3124	C1
		63	4960	C2
		80	8000	C3

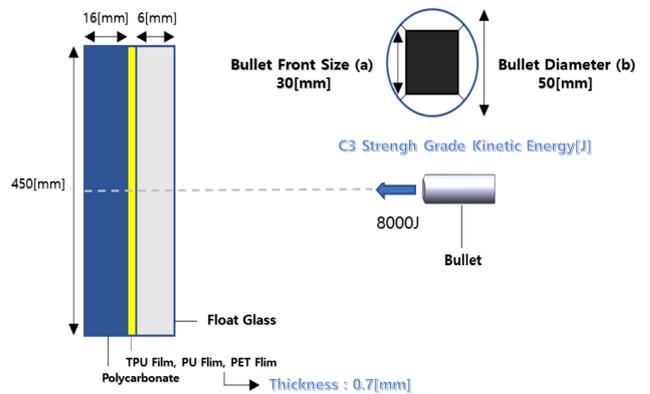


Fig. 8 Impact test bullet model and specimen

이트 16 mm, 필름은 0.7 mm, 유리는 6 mm를 적용하였다. 필름은 TPU, PU, PET 세 가지를 적용한 안전가드를 시험에 사용하였다. TPU 필름이 가장 접착력과 기계적 강도가 높으며 PET 필름이 접착력과 기계적 강도가 가장 낮다. PU 필름은 TPU 필름과 PET 필름 사이의 접착력과 기계적 강도를 갖고 있다<sup>[5]</sup>.

Fig. 9과 같이 고압을 가하는 발사체와 안전가드를 고정할 수 있는 지그 장치를 갖추고 탄환을 준비하여 고속카메라를 통해 발사되는 순간을 촬영하여 탄환의 속도를 측정하였다. 고속카메라를 통해 탄환 변위의 변화량에 대한 시간을 계산하여 탄환의 속도를 측정한다. 발사체의 경우 압력을 기준으로 작동되므로 규격에 따



Fig. 9 Safety guard impact test equipment

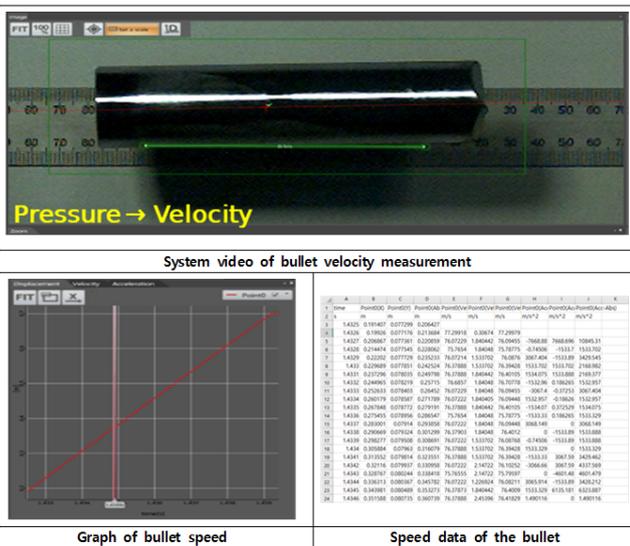


Fig. 10 Bullet speed measurement through high-speed camera

른 속도인 80 m/s가 출력될 수 있도록 반복 측정을 통해 해당 압력을 찾아서 설정한다. Fig. 10와 같이 고속카메라를 통해 탄환에 대한 정보를 해석하여 속도를 출력하는 과정을 볼 수 있다.

3.3 충돌시험 결과

Fig. 11과 같이 TPU, PU, PET 세 가지 필름을 적용한 안전가드에 대하여 충돌시험을 진행하였다. 필름 종류에 따라 각각 3회에 걸쳐 충돌시험을 수행하고 시험 결과 모두 관통되지 않았으므로 C3 등급을 만족하는 안전가드임을 확인할 수 있다. 다만, 탄환의 충돌 후 각각의 안전가드에 대한 형상을 살펴보면 차이가 나타남을 알 수 있다.

TPU 필름을 적용한 안전가드의 경우 접착력이 강하여 충격을

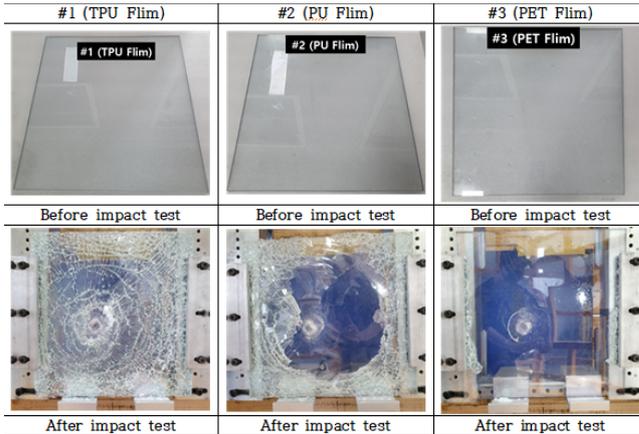


Fig. 11 Before and after impact test of safety guard

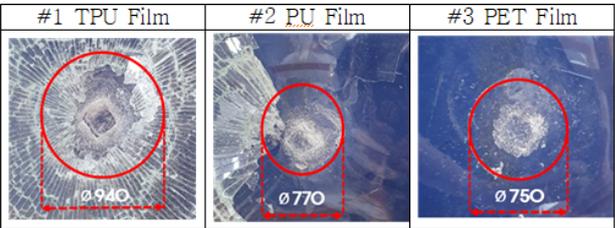


Fig. 12 Surface of polycarbonate after impact test

받은 유리가 대부분 붙어 있고 충돌 부위만 떨어져 나간 것을 확인할 수 있다. 충돌 부분에 대한 형상 또한 폴리카보네이트의 파손이 가장 심하며 crack 범위가 가장 넓다(Fig. 12 참조).

PU 필름을 적용한 안전가드는 충돌 부위를 중심으로 원형 형태로 유리 파편이 떨어져 나갔으나 충돌 부분에서 멀어질수록 유리 파편이 접합되어있는 것을 알 수 있다. 충돌 부분의 폴리카보네이트 형상은 TPU 필름의 경우에 비해 파손이 일어난 범위가 작으나 Crack이 많이 발생한 것을 육안으로 확인할 수 있다(Fig. 12 참조).

반면 PET 필름을 적용한 안전가드의 경우 유리 파편이 거의 붙어 있지 않으며 충돌 부분의 폴리카보네이트 형상이 가장 깊게 파였으며 crack이 발생한 범위가 가장 좁다(Fig. 12 참조).

이를 통해 필름의 기계적 강도가 아닌, 접착력에 따라 라미네이션 공법을 이용한 안전가드의 내충격성에 영향을 미치는 것을 추측할 수 있다. 위의 충돌시험 내용을 기반으로 CAE 해석을 통해 필름의 접착력이 안전가드의 내충격성에 미치는 영향을 비교하고자 한다.

3.4 필름 접착력에 따른 안전가드의 충돌 해석

충돌 해석의 경우 기초연구에서 사용한 Ansys Workbench 내의 LS-DYNA, Explicit Dynamics 해석프로그램을 통해 진행하였다. 앞서 Fig. 7에서 나타낸 것처럼 폴리카보네이트와 필름, 유리에 대한 두께를 지정하여 해석모델을 Fig. 13과 같이 제작하였

Table 3 Adhesive force and strength of films

Film type	Adhesive force	Strength	Note
TPU	3	5	5 (High) ~
PU	2	4.5	
PET	1	3	1 (Low)

Table 4 Analysis conditions according to the type of film

Case	Film	Stress criteria
Case 1	TPU	150 Mpa
Case 2	PU	100 Mpa
Case 3	PET	50 Mpa

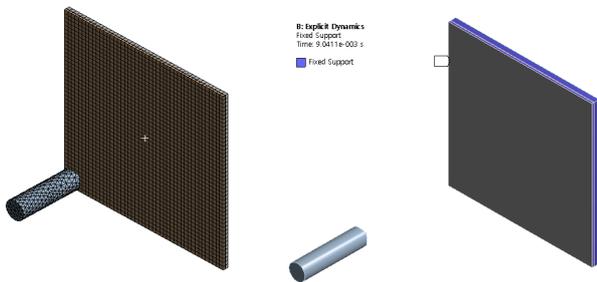
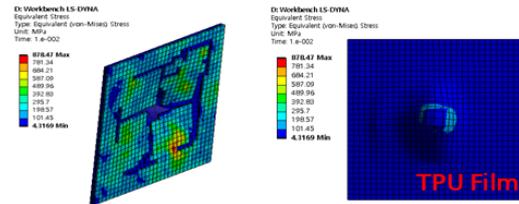


Fig. 13 Model for safety guard impact analysis

으며, 충돌시험과 동일한 형태의 탄환 모델을 적용하여 충돌 해석을 진행하였다. 안전가드의 테두리 부분을 fixed support 조건을 지정하였으며 탄환의 속도는 80 m/s를 부여하였다. 필름의 종류는 동일한 기계적 강도를 적용하기 위하여 PU 필름을 적용하였으며 접착력에 따른 안전가드를 적용하기 위해 contact region에서 breakable 설정을<sup>[10]</sup> 통해 최대 허용 접착 응력값을 설정하여 해석 시 접착력을 구현하였다. 또한, 필름의 종류에 따른 접착력이 Table 3과 같이 상대비교 값으로 나타낼 수 있으며 이를 구현하기 위해 해석 조건은 Table 4와 같이 breakable 설정을 stress criteria에 각각 150 MPa, 100 Mpa, 50 Mpa의 값을 적용 구분하였다.

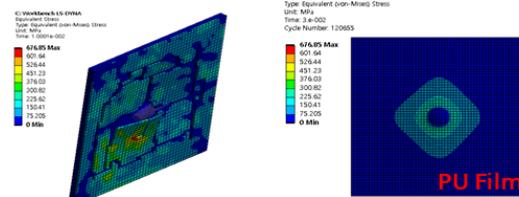
위와 같은 조건으로 해석을 진행하면 Fig. 14와 같이 접착력에 따라 해석결과에서 equivalent stress 값의 차이가 큰 것을 확인할 수 있다. 해석 데이터를 그래프로 나타내면 Fig. 15와 같이 나타나며 접착력에 따라 충격으로 인해 폴리카보네이트에 응력집중 현상이 작용하는 값이 접착력에 반비례하는 결과를 확인할 수 있다. 동일한 충격에너지를 적용하였음에도 불구하고 안전가드의 구성요소 중 가장 중요한 폴리카보네이트에 작용하는 equivalent stress의 값이 각각 878.47 MPa, 676.85 MPa, 386.3 MPa로 필름의 접착력이 내충격성에 미치는 영향이 크며 접착력과 반비례하는 것을 확인할 수 있다.

Case#1 Max. Equivalent Stress : 878.47MPa



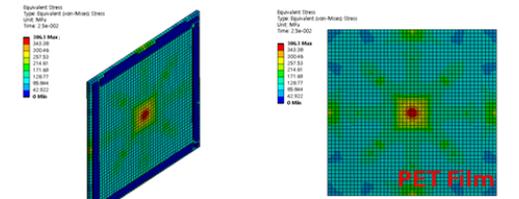
Stress Criteria : 150MPa

Case#2 Max. Equivalent Stress : 676.85MPa



Stress Criteria : 100MPa

Case#3 Max. Equivalent Stress : 386.3MPa



Stress Criteria : 50MPa

Fig. 14 Safety guard impact analysis result

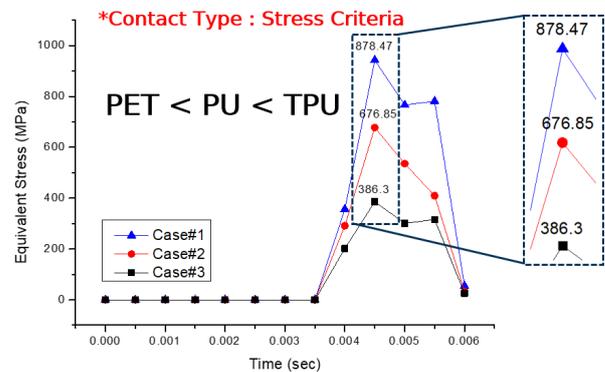


Fig. 15 Result summary of safety guard analysis

위와 같은 결과를 통해 안전가드의 내충격성에 대하여 필름의 접착력이 상당한 영향을 미치며 반비례하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 안전가드 설계 및 제조 시 필름의 종류를 고려할 때 기계적 강도뿐만 아니라 접착력을 고려해야 함을 알 수 있다.

#### 4. 결론

기존의 단순 접착식이 아닌, 라미네이션 공법을 적용하여 KS규

격 강도 등급 C3급의 공작기계용 안전가드에 관하여 연구를 진행하였다. 기존의 단순 접착식 공법에서 생기는 문제점인 절삭유의 유입으로 인한 폴리카보네이트의 수축을 해결하기 위해 라미네이션 공법을 적용하여 해당 문제점을 해결할 수 있다.

새로운 공법을 적용한 안전가드를 제작하는 과정에서 적용할 수 있는 다양한 필름들을 조사하여 분석을 통해 필름의 기계적 강도와 접착력에 따른 안전가드의 내충격성에 관한 연구를 진행하였다.

단순히 필름의 기계적 강도는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 보인다. 오히려 필름을 일정한 기계적 강도의 필름을 적용하였을 때 필름의 접착력에 따라 내충격성이 달라지는 것을 확인할 수 있다. 접착력이 낮은 필름이 높은 필름에 비해 같은 충격에너지 적용 대비 응력집중에 대하여 안정성이 더욱 높은 것을 확인할 수 있다.

이는 필름의 접착력으로 인해 폴리카보네이트의 연성에 대한 자유도가 달라져 실제 충격에너지를 흡수하는데 영향을 미치는 것으로 보인다. 이 연구를 통해 라미네이션 공법을 적용한 안전가드 제조에 적용되는 필름의 선정 여부에 대하여 단순히 기계적 강도가 아닌 접착력 또한 고려를 해야 하는 것을 알 수 있다.

## 후 기

이 연구는 2020년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(P0002092, 2020년 산업혁신인재성장지원사업).

## References

- [1] Jang, J. P., 2018, Optimization of the Structure Design of the Large Milling-boring Center, Master Thesis, Hanbat University, Republic of Korea.
- [2] Korea Machine Tool Manufactures, n.d., viewed 9 September 2020, <<http://www.komma.org/user/statistic/overview>>.
- [3] Derstrong Enterprise Co., n.d., viewed 13 January 2020, DER X2 LAM series, <[https://www.derstrong.com.tw/products.php?func=p\\_detail&p\\_id=1&pc\\_parent=1](https://www.derstrong.com.tw/products.php?func=p_detail&p_id=1&pc_parent=1)>.
- [4] Kim, T. W., Choi, J. W., 2013, A Study on Application of Finite Element Method to the Impact Test for the Safety of the Splash Guard of a CNC Machine Tool, J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng., 22:5 782-788, <https://doi.org/10.7735/ksmte.2013.22.5.782>.
- [5] Choi, J. H., 2020, A Study on the Estimation of Vehicle's Pedestrian Collision Velocity by Crack Pattern Analysis of Laminated Glass, Doctoral Dissertation, Korea Aerospace University, Republic of Korea.

	<p><b>Sun Bin Lee</b> M.Sc. candidate in the Department of Mechanical Engineering, Donga University. His research interest is Structural Analysis. E-mail: <a href="mailto:dolkong93@naver.com">dolkong93@naver.com</a></p>
	<p><b>Seong Jae Kim</b> Professor in the Department of Mechanical Engineering, Donga University. His research interest is Fracture Mechanics. E-mail: <a href="mailto:sjkim641@dau.ac.kr">sjkim641@dau.ac.kr</a></p>
	<p><b>Young Choon Lee</b> Chief In the Research &amp; Development Center of Dae young CoreTech Co., Ltd. His research interest is Production Technology Engineering. E-mail: <a href="mailto:lyc0202@empas.com">lyc0202@empas.com</a></p>
	<p><b>Jin Uk Jung</b> M.Sc. degree in the Department of Mechanical Engineering, Donga University. His research interest is Structural Analysis. E-mail: <a href="mailto:jjw8608@gmail.com">jjw8608@gmail.com</a></p>