

# 휴대폰 글라스 보호필름 자동 박리장치 개발에 관한 연구

최왕국\*, 허장욱\*\*,#, 김동욱\*\*\*

\*금오공과대학교 산업대학원 기계공학과, \*\*금오공과대학교 기계시스템공학과, \*\*\*육군군수사령부

## A Study on the Development of an Automatic Strip Machine for Removing Mobile Phone Glass Protective Films

Wang-Kug Choi\*, Jang-Wook Hur\*\*,#, Dong-Wook Kim\*\*\*

\*Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Industry, Kumoh National Institute of Technology, \*\*Department of Mechanical System Engineering, Kumoh National Institute of Technology

\*\*\*Department of Integrated Logistics Support, Army Logistics Command

(Received 20 June 2016; received in revised form 20 July 2016; accepted 5 September 2016)

### ABSTRACT

Due to material-specific vulnerabilities, the surfaces of the liquid crystal glasses used in mobile phones can crack easily, with even the smallest cracks undergoing propagation. To protect the glass surfaces, films are attached to the surfaces during the mobile phone production process. However, after machining the liquid crystal, removal of the film on the liquid crystal surface using chemical and mechanical methods is required. In this research, a peeling apparatus was developed for removing the films attached to liquid crystal surfaces during the production process. Mechanical attachment and design automation through experimentation and finite element modelling were performed to confirm the validity of the design.

**Key Words :** Automatic Strip Machine(자동 박리장치), Mobile Phone(휴대폰), Protective Film(보호필름), Strip Tape(박리 테이프), Gap Block(간격 조절블록), Damper Unit(완충장치)

### 1. 서 론

휴대폰은 다양한 부품의 복합체로 디스플레이, 전자소재 및 금형 등의 다양한 산업과 연관되어 있다. 특히 휴대폰 디스플레이 소재는 일반 유리와 같은 규소 기반의 실리콘계열로 취성이 강하기 때문에, 표면에 발생한 미세한 흠집이라도 균열의 전파가 매우 빨라 모든 공정에서 표면에 보호필름을 장착하여 보호하는 것이 필수적이다. 이러한

휴대폰 디스플레이에 대한 기계적 공정 후 글라스의 세정작업을 위해서는 보호필름 박리작업이 수반되어야 하는데, 기존에는 Fig. 1과 같이 손으로 직접 박리하거나, 화학용제를 이용하여 세척하는 방법을 통해 보호필름을 박리해 왔다.

그러나 수작업에 의한 휴대폰 글라스(glass) 보호필름 박리 작업은 단순작업으로 근로자의 업무 피로도가 매우 높고, 생산성이 낮은 단점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 휴대폰 글라스의 보호필름 박리 작업을 대상으로 다른 공정과 연계하여 작업할 수 있도록 하고, 생산성 향상을 위해 물류이동 소요를 최소화할 수 있는 자동 박리장치를 개발하였다<sup>[1-2]</sup>.

# Corresponding Author : hhjw88@kumoh.ac.kr

Tel: +82-54-478-7399

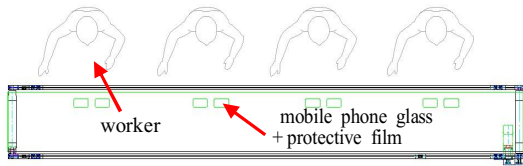


Fig. 1 Protection film strip concept of existing method

## 2. 시스템 모델링 및 주요 구성품

휴대폰 글라스의 보호필름 자동 박리 시스템은 Fig. 2와 같이 박리 테이프 공급부, 접착테이프 및 보호필름 합지품 회수부, 상하 조절용 누름 라미부, 컨베이어 이송부 및 제어부의 5개 주요 구성품으로 되어 있다.

박리 테이프 공급부는 파우더 브레이크(powder brake)와 에어 샤프트(air shaft)로 세분되며, 파우더 브레이크가 전기적 신호를 받아 에어 샤프트의 구동여부를 결정하고, 박리 테이프를 공급해 주는 기능을 수행한다.

접착테이프 및 보호필름 합지품 회수부는 서보 모터와 에어 샤프트 그리고 회전 감지 센서로 세분되며, 박리된 테이프를 회수한다. 이때 발생할 수 있는 박리 테이프의 끊어짐을 방지하기 위해 회전 감지 센서가 박리 테이프 공급부와 전기적 신호로 연동하여 동작하게 하였다.

상하 조절용 누름 라미부는 실리콘 롤러와 갭 블록으로 세분되며, 실리콘 롤러는 박리 테이프와 보호필름이 합지시 휴대폰 글라스에 가해지는 충격을 최소화하도록 하고, 갭 블록은 보호필름과 박리 테이프 합지를 보장할 수 있도록 상하 위치를 제어한다.

컨베이어 이송부는 프로파일 결합체와 우레탄 벨트로 세분되며, 서보 모터로 구동한다. 이는 박리 테이프 공급부의 접착테이프 및 보호필름 합지품의 회수부 또한 컨베이어의 속도가 다르면 정상적인 시스템 동작이 곤란하기 때문에 이러한 오류 방지를 위해 적용하였다.

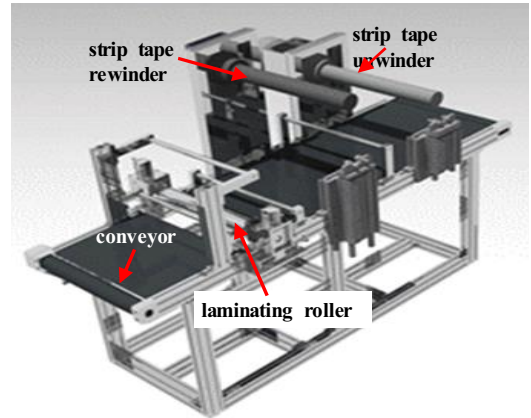


Fig. 2 Geometry of automatic strip machine

마지막으로 제어부는 테이프를 연속적으로 사용하는 기구의 특성상 테이프의 공급률과 회수률이 필요한데, 시간이 지남에 따라 테이프가 감긴 각 롤의 직경이 다르게 되어 각 롤의 회전수를 지속적으로 변경해주어야 한다. 즉, 공급률과 회수률의 회전속도는 반비례 관계를 가지게 되고, 반비례 상수는 제어루프를 통해 결정하도록 하였다.

## 3. 보호필름 테이프 압력 조절

휴대폰 글라스 보호필름의 원활한 박리를 위해서는 컨베이어와 접착테이프 사이에 놓이게 되는 보호필름이 적절한 압력을 받아 박리될 수 있도록 하는 조절장치가 필요하며, 시스템 개발의 성패를 좌우하는 핵심기술이 반영된 부분이다. 이러한 기능을 수행하도록 상하 조절용 누름 라미부를 Fig. 3과 같이 설계하였으며, 실린더를 이용하여 상하 압력을 제어하고, 상하 높이를 조절할 수 있도록 갭 블록을 설치하였다.

보호필름의 진입 단계에서는 Fig. 3(a)에 나타난 바와 같이 나사(screw)를 이용하여 라미 롤러의 높이를 조절하며, 나사 회전수에 따라 높이가 결정되는데, 이때 나사의 이송량( $f$ )은 Fig. 4의 나사의 작동 원리도로부터 식 (1)과 같이 산출할 수 있다.

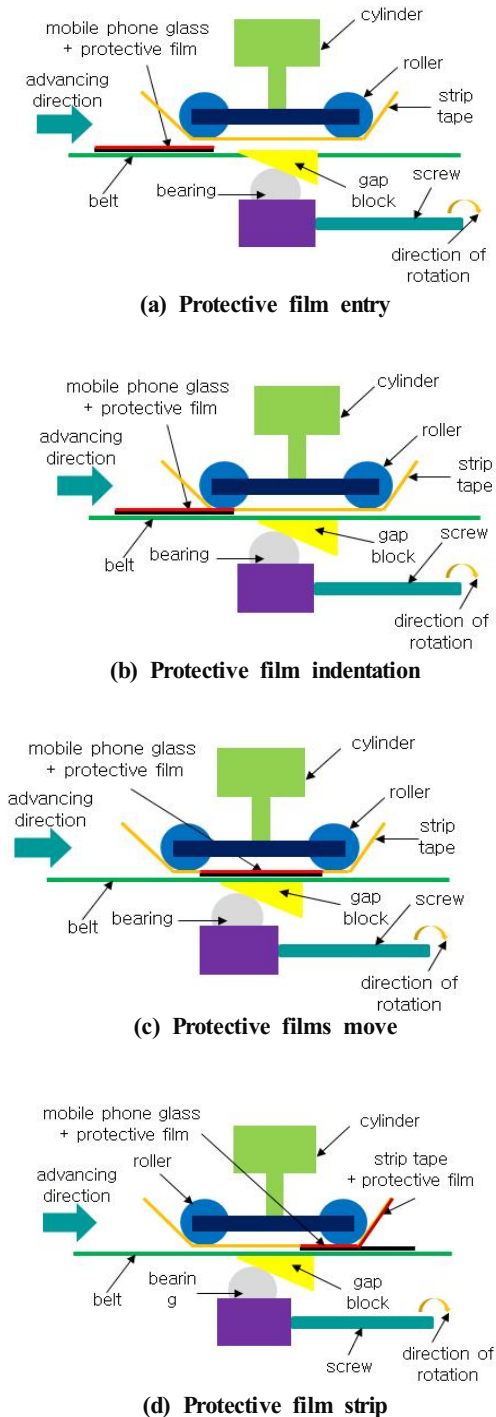


Fig. 3 Conceptual views of protective film strip

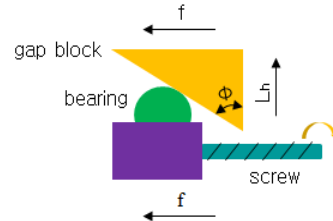


Fig. 4 Operation principle of screw moving mechanism

$$f = L_h \times \tan \phi \quad (1)$$

여기서  $L_h$ 는 라미 롤러의 높이 변화량이고,  $\phi$ 는 나사부와 연결된 갭 블록의 경사각이다.

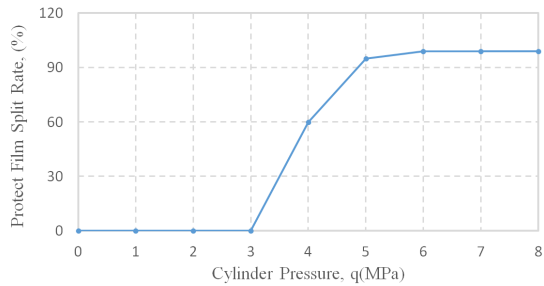
보호필름의 압입 단계에서는 Fig. 3(b)에 표시한 바와 같이 보호필름이 부착된 글라스가 갭 블록 사이로 진입하게 됨과 동시에 실린더에 의해 라미 롤러가 하강하여 보호필름에 압력을 추가하게 되며, 이때 적정 압력이 유지되지 않으면 합지가 불완전하게 되고, 박리 불량 발생하게 되기 때문에 실린더의 누르는 힘이 중요하게 되는데, 실린더의 힘( $F_{cylinder}$ )은 식 (2)와 같이 산출할 수 있다.

$$F_{cylinder} = \frac{\pi d^2}{4} \times n \times p \quad (2)$$

여기서  $d$ 는 실린더 직경,  $n$ 은 실린더 수,  $p$ 는 실린더 공기압을 표시한다.

보호필름이 부착된 글라스가 라미 롤러를 통과한 이후에는 Fig. 3(c)에 나타난 바와 같이 접착테이프에 보호필름이 부착된 상태로 컨베이어 벨트의 흐름에 따라 이동하게 된다. 이때 라미 롤러는 보호필름이 부착된 글라스가 통과할 수 있는 최소한의 간격을 유지한 상태로 컨베이어 벨트 흐름을 통해 이송되게 한다.

마지막으로 보호필름의 박리 단계에서는 Fig. 3(d)에 표시한 바와 같이 접착테이프에 의해 글라스로부터 보호필름이 박리되고, 박리된 보호필름은 접착테이프와 합지되어 회수부로 이동하게 되며, 이때 글라스로부터 보호필름의 박리를 용이하게 하기 2번째 라미 롤러를 설치하였다.



**Fig. 5 Relation of cylinder pressure and protective film strip rate**

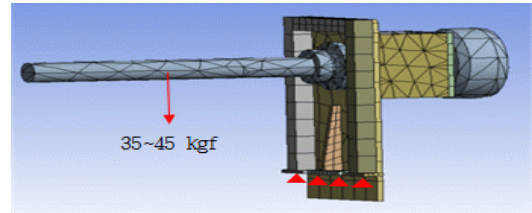
아울러 접착테이프의 접착강도가 보호필름 박리에 매우 중요한 영향을 미치므로 실린더 공기압과 접착테이프의 보호필름 박리 사이의 관계를 Fig. 5에 나타내었다. 실린더 공기압이 0.3MPa 이하에서는 보호필름 박리가 거의 발생하지 않았으며, 5MPa 이상에서는 실린더 공기압이 충분히 커서 박리가 제대로 이루어지고 있으나, 실린더 압력이 증가할수록 휴대폰 글라스의 손상이 우려되어 5MPa로 설정하였다.

## 4. 시스템 강도해석 및 성능평가

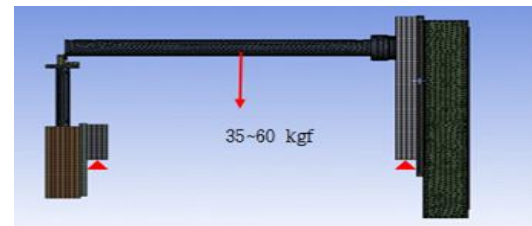
### 4.1 시스템 강도해석

시스템 제작에 앞서 구조강도 해석을 통해 과도한 변형이나 응력이 발생하지 않는지 검증하였으며, 박리 테이프 공급부와 접착테이프 및 보호필름 합지품 회수부의 변위와 응력을 확인하였다. 해석 소프트웨어는 ANSYS를 사용하였으며, 요소분할 형상은 Fig. 6에 나타난 바와 같이 박리 테이프 공급부는 외팔보 형상이고, 접착테이프 및 보호필름 합지품은 단순보 형태를 취하고 있다. 요소 수는 공급부와 회수부가 각각 2,953개, 101,602개이고, 절점 수는 각각 7,355개, 217135개이다. 그리고 재질은 알루미늄 합금 프로파일을 사용하였으며, 외부하중은 자중과 테이프의 무게를 고려하여 공급부 30~45kg, 회수부 30~60kg으로 하였다<sup>[3-5]</sup>.

테이프 공급부와 회수부에 대해 외부하중이 각각

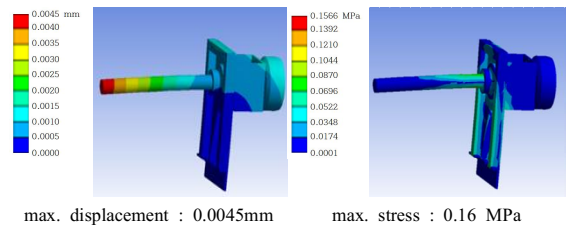


(a) Strip tape unwinder equipment

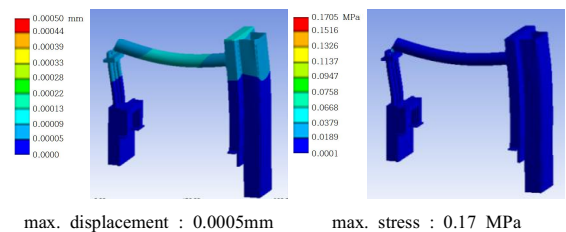


(b) Strip tape rewriter equipment

**Fig. 6 Geometry of elements division**



(a) Strip tape unwinder equipment



(b) Strip tape rewriter equipment

**Fig. 7 Displacement and stress analysis results**

45kg, 60kg으로 최대하중이 부가된 경우의 변위와 응력에 대한 해석결과를 Fig. 7에 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 최대변위는 공급부와 회수부에서 각각 약 0.0045mm, 0.0005mm를 나타내고 있으며, 최대응력은 약 0.2MPa를 표

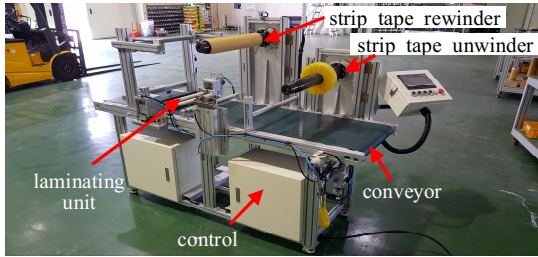
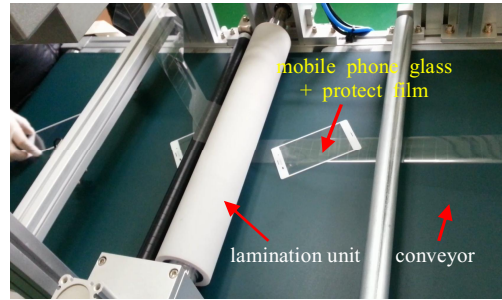
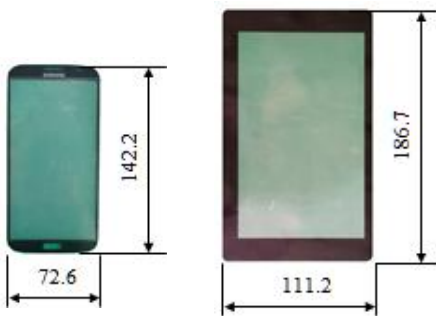


Fig. 8 Photograph of system configuration

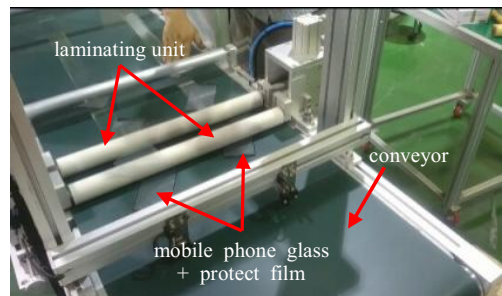


(a) 1 row test



(a) Smartphone type (b) Tap type

Fig. 9 Specimen geometries of protective film



(b) 2 rows test

Fig. 10 Photographs of protective film strip

시하고 있어, 변위나 응력 측면에서 시스템은 매우 강건함을 알 수 있다.

#### 4.2 시스템 제작 및 성능평가

시스템 모델링 결과를 기초로 구성품을 가공 및 조립하였으며, 시스템 제작 형상을 Fig. 8에 나타내었다. 박리 테이프의 공급부와 회수부에 대한 Fig. 7의 해석결과를 바탕으로 주요 구성품은 알루미늄 프로파일을 사용하였으며, 제어부는 서보 모터 속도제어를 위한 알고리즘이 적용된 소프트웨어가 포함되었다.

시스템이 요구성능을 충족하는지 확인하기 위해 성능평가를 실시하였으며, 시험편은 Fig. 9에 나타낸 바와 같이 일반적으로 가장 많이사용하고 있는 스마트폰 타입과 탭 타입을 적용하였다. 컨베이어 벨트 재질은 실리콘, 우레탄 및 테프론을 비교한 결과 미끄러짐이 적은 우레탄을 사용하였고, 컨베이어 벨트 작동 속도는 글라스 보호필름

Table 1 Tact time measurement results

type	number of concurrent tasks	
	1 row	2 rows
smart phone	1.86 sec	1.90 sec
tap	2.32 sec	2.54 sec

박리작업이 가장 원활한 5m/min으로 하여 생산 시간을 측정하였다.

휴대폰 글라스의 보호필름에 대한 1열과 2열의 박리 사진을 Fig. 10에 나타내었으며, 스마트폰 타입과 탭 타입에 대한 1열과 2열의 보호필름 박리시간 측정결과를 Table 1에 표시하였다. 스마트폰 타입이 탭 타입보다 박리시간이 다소 길었으나, 이는 보호필름 크기 차이에 기인한 것으로 보인다. 또한 2열(2 rows)이 1열(1 row)보다 보호필름 박리시간이 다소 길게 측정된 것은 컨베이어 벨트 위에 보호필름을 최초 정렬하는데 소요시간이 2열이 1열보다 더 많이 소요되기 때문으로 사료된다. 이러한 결과를 이용하여 휴대폰 글라스의 보호필



림 박리를 8열로 한다고 하였을 때, 박리시간은 스마트폰 타입( $S_{8rows}$ )와 탭 타입( $T_{8rows}$ )에 대해 각각 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$S_{8rows} = S_{1row} + (S_{2rows} - S_{1row}) \times 7 \quad (3)$$

$$T_{8rows} = T_{1row} + (T_{2rows} - T_{1row}) \times 7 \quad (4)$$

상기 식으로부터 8열의 장비를 운영하는 경우, 시간당 박리수량은 스마트폰 타입이 1,682개, 탭 타입이 932개로서, 수작업(시간당 360개)에 비해 생산성이 2.5~3.6배 향상됨을 알 수 있다, 또한 기존 수작업은 4명이 1개조로 운영하고 있으나, 개발 장비는 1명 1개조로 운영이 가능하여, 여유인원이 개발된 박리장치를 추가로 운영하다면 생산성은 약 7.7~14배로 향상될 것으로 보인다.

### 4.3 시스템 기구 개선

시스템에 대한 성능평가 중에 박리 테이프 회수부에 접착테이프와 보호필름의 합지품이 감기면서 직경 변화에 따른 접착테이프의 처짐이 발생하거나 과도한 당김 현상이 일어났으며, 이는 접착테이프의 인장력 변동에 기인한 것으로 판단되었다. 즉, 접착테이프의 인장력이 낮으면 테이프의 처짐으로 인해 접착테이프가 컨베이어에 접촉되는 문제가 발생하게 되고, 인장력이 너무 높으면 테이프가 늘어나거나 찢어지게 되어 박리 공정의 실패로 나타나게 되었다.

따라서 접착테이프의 적절한 인장력 유지는 글라스 보호필름의 안정적인 박리 작업을 위해 필수적으로 고려해야 하는 사항이며, 일정한 인장력 유지를 위해 Fig. 11와 같이 센서와 복귀 스프링 및 장력 조절용 가이드 롤러 구조를 갖는 완충장치(damper unit)를 설계하여 장착하였다<sup>[6-8]</sup>.

박리 테이프의 장력이 적절하면, 박리 테이프에 가해지는 장력 조절용 가이드 롤러가 움직이지 않고 원활한 동작을 보인다[Fig. 12(a) 참조]. 그러나 박리 테이프 및 보호필름 회수부의 회전에 따라

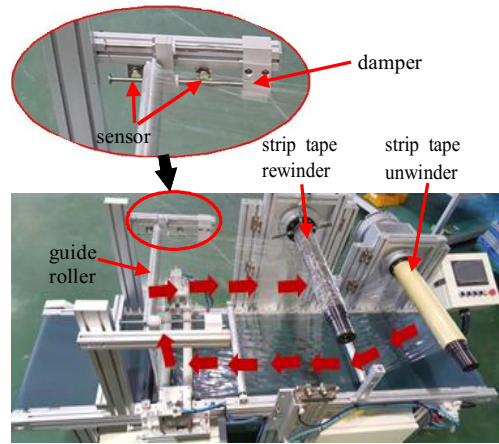


Fig. 11 Configuration of damper unit

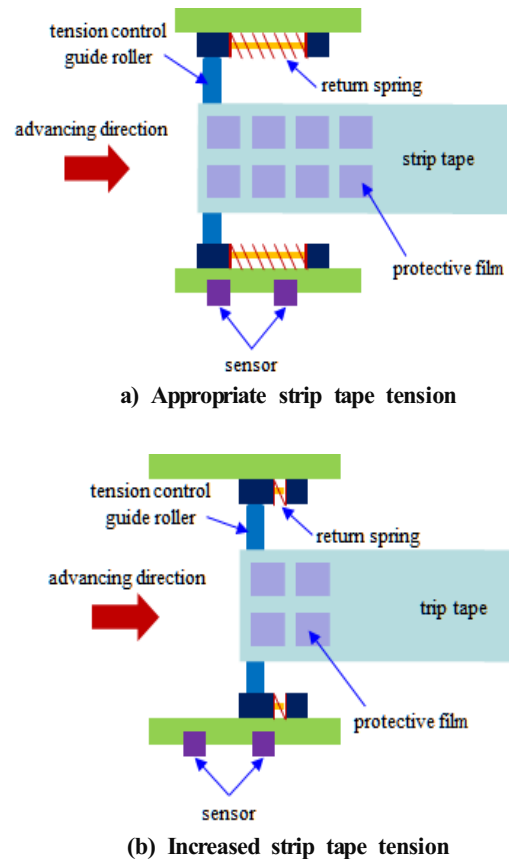


Fig. 12 Conceptual views of damper units operation

박리 테이프 장력이 증가하면, 장력 조절용 가이드 롤러가 회수부쪽(우측)으로 당겨지게 됨으로 인해[Fig. 12(b) 참조] 박리 테이프의 장력을 일정하게 유지하게 한다.

## 5. 결 론

휴대폰 글라스 보호필름을 대상으로 기존 공정의 비효율성을 제거하기 위해 자동 박리장치를 개발하였으며, 얻어진 결과는 다음과 같다.

1. 휴대폰 글라스 보호필름 박리기를 8열로 환산 시 개발된 장비로 시간당 스마트폰 타입은 1,682개, 탭 타입은 932개의 보호필름 박리가 가능하다.
2. 기존 작업은 4명 1개조로 운영하고 있으나, 개발장비는 1명 1개조로 작업이 가능하다.
3. 기존 수작업(시간당 360개, 4명 기준) 보다 개발 장비가 생산성에서 약 7.7~14배로 대폭 개선되었다.

## References

1. Bae, Y. B., Kim, K. Y., Cha, H. S., and Shin, D. W. "Modular, Conveyor System, Process, Production Process of the Modular", Korean Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 15, No. 5, pp. 103-112, 2012.
2. Whang, K. H., Shin, B. C., and Choi, Y. K., "Stripping Machine Development for Film of Mobile Phone Glass", Proceedings of KSMPE Spring Conference, pp. 184, 2015.
3. Kim, S. Y., and Lee, C. W., "Study on the Radial Stress Considering Mechanical Characteristics in Wound Rolls", Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 33, No. 2, pp. 115-119, 2016.
4. Lee, C. W., "Effect of Taper Tension Profiles on Radial Stress of a Wound Roll-to-roll Winding Process", Journal of the Korean Society for

- Precision Engineering, Vol. 31, No. 2, pp. 125-131, 2014.
5. Han, W. H., Jung, H. S., Lee, M. H., "A Study on External Effects on Peeling-off Behavior of Behavior of Adhesive Tape" Adhesion-interface, Vol. 13, No. 1, pp. 9-16, 2012.
6. Yang, H. C., Yun, S. C., and Han, C. S., "A study on the Design of a Robust Tension Controller in a Film", Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 18, No. 10, pp. 327-331, 2001.
7. Kang, M. C., Lee, C. H. and Kim, N. K., "Wire-tension Control System using Photo-interrupter Sensor and Micro-electrode Fabrication," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 12, No. 3, pp. 28-35, 2013.
8. Shin K. H., and Kwon S. O. "Longitudinal Tension Control at Start and Stop in a Multi-span Continuous Process System", Proceedings of KSPE Autumn Conference, pp. 584-589, 1995.