

GMPU 공법을 이용한 보드 성형 공정 최적화 연구

A Study on Optimization of Board Molding Process with GMPU Technology

최동조¹, 박홍석^{2,✉}
Dong Jo Choi¹ and Hong Seok Park^{2,✉}

¹ 울산대학교 자동차선박기술대학원 (Institute of e-Vehicle Technology, Ulsan Univ.)

² 울산대학교 기계공학자동차공학과 (Department of Mechanical and Automotive Engineering, Ulsan Univ.)

✉ Corresponding author: phosk@ulsan.ac.kr, Tel: 052-259-2294

Manuscript received: 2008.5.15 / Revised: 2008.9.29,12.18 / Accepted: 2008.12.22

Lightweight board has been used for manufacturing various fields of automotive interior trims for years. The GMPU board was constructed with glass fiber mat, honeycomb and polyurethane foamed using polyol and isocyanate materials which were sprayed by robot that is interlocked foaming machine. For more lightweight and cost reduction this paper shows how to optimize GMPU process parameters that related to foaming condition, robot position and robot velocity for polyurethane weight. The results show that flexural strength and modulus of board's specimens were evaluated by robot velocity and moving pattern. Based on that, a innovative process was developed for more lightweight and cost reduction.

Key Words: GMPU (강화유리폴리우레탄), Polyurethane (폴리우레탄), PU Foaming (폴리우레탄 발포), Robot Spray (로봇 분사), Lightweight (경량), Automotive Interior trim (자동차 내장 트림)

1. 서론

자동차 소재에서 가장 중요한 선정 요인은 요구된 강성 만족, 경량화와 원가절감이 밀접한 연관성을 가지고 있다. 배기량 감소와 연비 향상을 위한 경량화는 신기술 공법의 주된 관심사이고 고품질, 높은 생산성을 갖춘 소재 및 공법이 기업 경쟁력을 가져다 준다.¹ 자동차 부품 중 보드 성형시 샌드위치 구조는 상판, 하판, 중간 코어로 구성되며 무게에 비해 강도가 월등한 것이 큰 장점이나 제작 가공상의 어려움이 단점이다.^{2,3} 복합 적층 소재는 치수 안정성 및 중량에 비해 강성, 강도가 우수하고 고경량화가 가능하다.⁴ 심재는 기체에 비해 인장강도, 신율보다는 압축강도, 밀도 특성이 더 중요하다. 심재는 압축강도와 밀도가 낮

은 종류와 압축강도와 밀도가 모두 높은 종류로 구분될 수 있다. 적용 부위에 따라 높은 강도보다는 무게가 가벼워야 하는 헤드라이닝 등에는 EPP 폼이나 종이 Honeycomb 이 적합하고, 고강성을 요하는 적재함 바닥 등에는 PP Honeycomb 이 적합하다고 할 수 있다.⁵

본 연구의 보드 성형을 위해 사용된 소재로는 보드 내판 구조를 형성하기 용이하면서 중량이 가벼운 Honeycomb 을 심재로 넣고 보드의 강성을 만족시키기 위해 Glass mat 를 기재로 사용하였다. 그리고 Honeycomb 과 Glass mat 를 결합시키고 표면이 매끈한 보드판을 얻기 위하여 고운 분말 형태로 폴리올(Polyol)과 이소시아네이트(Isocyanate) 를 Glass mat 와 Honeycomb 시트 표면에 고압 스프레이 분사한 후 열간 금형으로 가압시키는 동안 폴

리우레탄(Polyurethane)으로 발포 성형시킨다.⁶

본 연구는 완성차 업체와 자동차 부품업체가 당면하고 있는 자동차부품의 경량화 추세와 원가 절감에 맞추어 새로운 GMPU 공법을 이용하여 자동차 부품으로 사용 가능한 보드를 성형하는 공정을 최적화하는 것이다. 이것을 위해 폴리올과 이소시아네이트를 폴리우레탄으로 발포하기 위한 발포기 조건과 폴리올, 이소시아네이트를 고압 분사하는 로버트의 위치, 속도, 분사 조건에 따른 보드의 중량 감소와 강성 만족을 연구하는 것이다.⁷

2. GMPU 공법의 특성

2.1 소재의 구성 및 공정 프로세스

소재의 구성은 보드의 강성과 제품 형상을 만들기 위해 Fig. 1 에서 보는 바와 같이 Glass fiber mat 2 장의 기재 사이에 종이 Honeycomb 1 장을 심재로 넣은 다층 시트로 구성되어 있다. GMPU 공법의 공정 프로세스는 3 곳의 위치를 반복 순환하는 과정에서 소재 공급기, 발포기 및 분사용 로봇과 성형 프레스가 순차적으로 동작하는 프로세스이다.

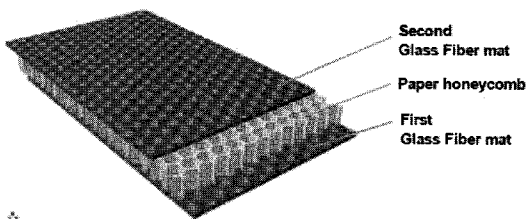


Fig. 1 Structure of GMPU board

Fig. 2 에서 보는 바와 같이 공정(1)에서 Glass fiber mat 와 Honeycomb 을 적층한 시트를 공급기에 투입하고 공정(2)에서 설정된 발포 조건으로 폴리올과 이소시아네이트가 고압 분사된다. 시트의 위치별 분사량과 분사 유형은 로봇의 TCP (Tool Center Position)의 x, y, z 위치 값, 자세 값, 속도와 주행 방향으로 제어한다. 공정(3)으로 분사 완료된 시트가 자동으로 보드성형 금형 위치로 이송되면 상·하 열간 금형이 합형되고, 이소시아네이트와 폴리올이 Cream time 과 Rise time 을 지나는 동안 폴리우레탄으로 발포된다.

이 때 100℃ 이상의 열간 금형을 200bar 이상

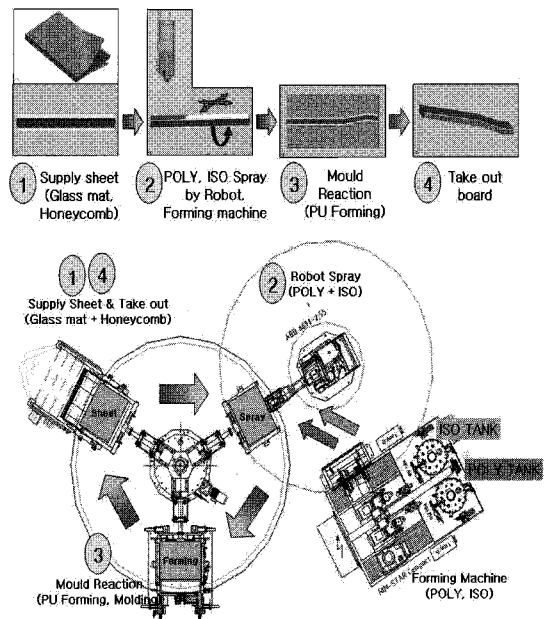


Fig. 2 Process of GMPU using robot spray and foaming machine

의 프레스 압력으로 가압 성형하면 시트가 상호 결합하고 보드 제품 형상과 필요 강성을 이루게 된다. 공정(4)는 공정(1)과 동일 위치로서 작업자가 시트의 투입과 성형 완료된 보드를 취출한다.

2.2 발포 약품 특성에 따른 공정 조건 설정

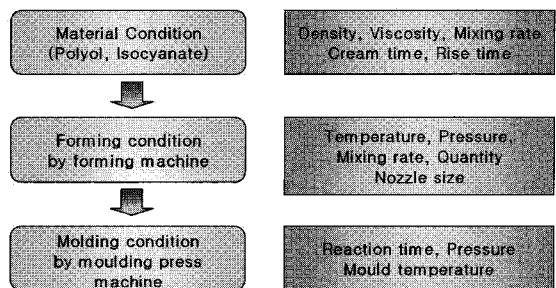


Fig. 3 Conditions of material, forming machine and mould press machine

GMPU 조건 중 발포에 관한 조건은 약품 소재 조건, 발포기 조건, 성형 금형 조건으로 분류가 될 수 있다. 그 중에서 약품 소재 조건은 폴리올과 이소시아네이트 약품을 개발 공급하는 업체에서 제시하는 조건이고, 약품 업체에서 제시한 조건을

기준으로 발포기와 성형 금형 조건을 설정하는 것이 원칙이다.⁸ 하지만 발포 약품 업체의 시험값과 실제 발포 상태는 차이점이 발생할 수 있기 때문에 최종적인 발포기와 성형 금형 조건은 발포기를 이용한 고압 분사로 발포한 발포물의 발포셀 상태가 미세한 입자 구조인지를 살펴 보고 온도, 압력, 토출량, 노즐 크기 등 발포기 조건들의 최적화 과정을 반복해야 한다.

Fig. 4 의 (A)의 사진과 같은 상태는 발포 조건이 적합하지 않을 때 발생하는 것이다. (A)와 같은 발포셀 상태가 발생하면 약품 업체에서 약품 조건을 변경하거나 발포기의 온도, 압력, 노즐 크기를 변경시켜 Fig. 4 의 (B)와 같이 미발포 된 곳이 없고 발포셀 상태가 조밀하고 흐름 자국이 없는 최적 발포 조건을 찾아내야 한다.⁹

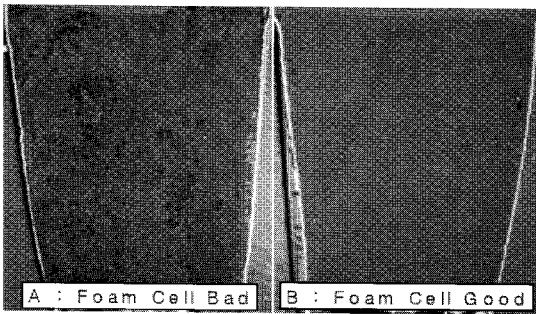


Fig. 4 PU Foam Cell condition (A: Bad, B: Good)

발포기의 온도가 높아지면 발포가 빨라지고 약품의 점도가 낮아져서 약품이 흘러내리는 현상이 발생할 수 있으므로, 폴리올과 이소시아네이트의 약품을 개발 공급하는 업체에서 추천하는 약품 온도인 30~34℃ 전후로 발포기의 승온과 냉각장치를 유지한다. 폴리올과 이소시아네이트의 혼합율이 100 대 200 이고 현재 발포기의 정격 혼합 토출량이 63g/s 이므로 Quantity 는 21g/s(POLY), 42g/s(ISO)로 설정한다.

그리고 점도는 폴리올(800)이 이소시아네이트(270) 보다 높지만 혼합율은 이소시아네이트(200)가 폴리올(100)보다 2 배 많은 점을 고려하여 노즐 크기 크기를 선정한다. 선정방식은 약품의 토출 분사시 발생하는 압력 그래프를 이용하며, 폴리올과 이소시아네이트의 발생 압력 그래프가 Fig. 5 의 (1)과 같이 폴리올이 이소시아네이트 보다 높게 나타나는 경우에는 두 약품의 노즐 크기의 조합이 잘못되었기 때문에 발생하는 것으로 Fig. 5 의 (2)

와 같이 두개의 약품이 비슷한 압력 곡선을 가질 수 있도록 분사 Nozzle 의 크기를 결정한다.

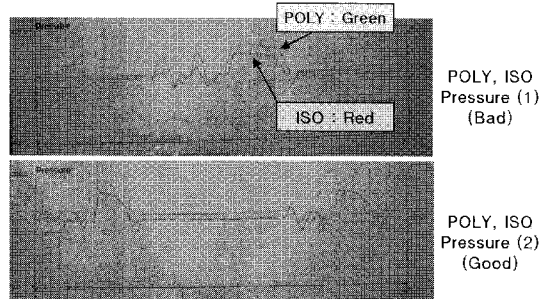


Fig. 5 Spray pressure of Polyol and Isocyanate

발포기 특성상 고압 분사시 승압 시간이 필요하고, 주행 방향과 Mixing head 의 Nozzle 을 Open 하는 시점의 결정이 발포기의 승압 조건에 영향을 미친다.

TriggEquip MHopen, 10,0,0\DOP:=doShotDigOut, 1 (1)

TriggL p_22_s11, v250, MHopen, fine, t_mk_100mm (2)

위에 예시된 발포 승압조건 프로그램의 (1)과 같이 시작 위치 10mm 전에 Open signal 을 보내고, 시작점 도달을 위한 로봇 속도는 (2)와 같이 TriggL 의 MHopen 속도 250mm/s 로 승압 조건을 설정한다. 프로그램 조건에 따른 압력 그래프는 Fig. 5 의 (2)의 압력 곡선과 같이 나타난다. 이와 같은 일련의 반복과정을 통해 최적의 발포셀 상태를 위한 각종 발포기의 조건은 Table 1 과 같이 설정하고 보드 성형 과정으로 진행하게 된다.

Table 1 Foaming condition

Material	Material tank temperature (°C)	Nozzle size (mm)	Spray pressure (bar)	Mixing rate (%)	Quantity (g/s)	Viscosity mPa.s
POLY	32 ± 2	0.48	145 ± 5	100	21	800
ISO	32 ± 2	0.7	145 ± 5	200	42	270

보드성형공정은 경량화나 품질에 직접적인 영향을 미치지 않지만 생산성과 관련이 높다. 성형시간이 낮을수록 생산시간이 단축되는 효과가 있지만 후 발포에 의한 제품 표면 품질이 떨어지는 현상이 발생한다. 성형시간은 약품의 Rise time 에서 이송시간을 제외한 시간 이상으로 설정하면

품질이나 강성에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타난다. 성형 금형에서 보드를 성형시 성형금형의 온도가 낮으면 발포가 느리게 진행되고, 온도가 높으면 발포는 빠르게 진행되어 생산시간은 단축되지만 층 분리 현상에 의한 박리가 발생하는 경우가 있다. 성형 금형의 압력은 높을수록 표면 외관은 좋아지므로 장비의 정격 최대 압력으로 상하 금형을 합형 가압시켰다.

2.3 로봇 프로그램에 따른 조건

로봇은 6 축이 연동하면서 주행함으로 로봇 위치 변경과 속도 변경에 따른 분사량 편차가 발생한다. 분사량 편차를 축소할 로봇 환경 조건을 우선적으로 결정하여, 로봇 주행 방식과 위치 변경에 따른 편차를 줄이는 선행 과정이 필요하다. 본 연구는 ABB ROBOT 사의 IRB 6600 모델을 사용하였으며, 로봇 자세에 따른 노즐 분사각의 편차를 축소하고자 동일한 로봇 자세에서 로봇의 주행 방법, 위치 및 주행 속도의 변경을 통한 분사 조건을 도출하고자 하였다.¹⁰

그리고 발포 조건과 금형 조건을 설정한 후, 제품 표면과 강성 등의 세부 조건은 로봇의 시작점, 도착점과 구간별 속도에 따라 보드 강성, 외관이 달라진다. 로봇 분사 속도에 따른 폴리우레탄 분사량을 측정된 Fig. 6 의 그래프를 보면 속도 증가에 따라 중량 감소가 대체로 선형 변화를 이루고 있다. 따라서 Robot 속도 제어로 폴리올과 이소시아네이트의 토출량에 따른 폴리우레탄(PU)의 분사량의 변화를 제어한다.

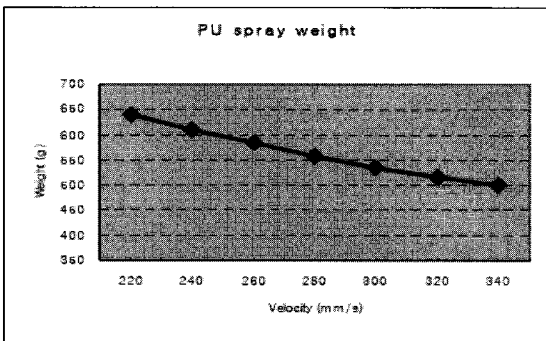


Fig. 6 PU Spray weight according robot velocity

폴리올과 이소시아네이트 합계 분사량(이하 폴리우레탄 분사량)을 600g 기준으로 분사 유형 변경에 따른 제품 상태를 비교해 보았다.

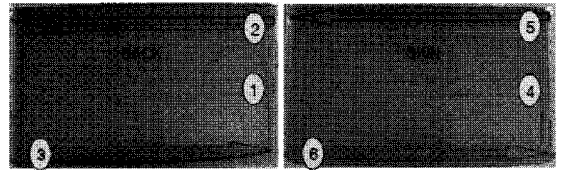


Fig. 7 Robot moving pattern for back and skin surface

- 1) Back 면에 ①번 분사 1 회 지속주행, Skin 면에 ④번 분사 1 회 지속 주행(Fig. 7)
- 2) Back 면에 ①번 왕복 분사 (2 회~5 회), Skin 면에 ④번 왕복 분사 (2 회~5 회) (Fig. 7)
- 3) Back 면과 Skin 면에 위치별 제어 분사 Back (①→②→③), Skin (④→⑤→⑥) (Fig. 7)

1)과 같은 방식은 생산시간 단축과 분사 노즐의 청결상태 유지의 이점이 있지만 분사량이 중앙 부분에 비해 외곽의 폴리우레탄 분사량이 부족하고 제품 전체에 균일하게 분포되지 않아서 Fig. 8(A), (B)와 같이 두께가 두꺼운 부분에 미성형이 발생한다. 미성형을 해결하기 위해 분사량을 증가시키면 보드 전체 중량이 증가함으로 경량화의 취지에 맞지 않았다. 2)의 방식 중 2 회 왕복 분사는 1)에 비해 좋은 결과를 얻었지만, 3 회 이상 왕복 분사는 동일한 600g 분사를 위해 로봇 주행속도를 고속으로 설정함으로 분사 약품이 날려 버리는 현상이 발생하여 균일한 분포가 이루어지지 않아 Fig. 8 의 (C)와 같은 곰보 자국이 발생하였다.

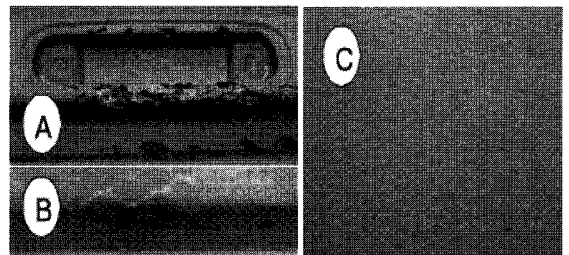


Fig. 8 Short shot of Handle(A), Rear(B) and Surface(C)

3)의 방식은 1), 2)의 방식에 비해 양호하지만 분사량이 상대적으로 증가하여 제품 중량이 높게 나타난다. 제품 형상에 따른 두께가 제품 위치에 따라 다르므로 주행 위치, 속도, 횟수를 달리 하여 생산성, 품질 및 강성을 만족하는 조건을 도출할 필요가 있다. 그리하여 제품 형상에 따른 Robot 주행 위치, 속도와 주행 순서를 Fig. 9 와 Table 2 와

같이 보완할 필요성이 생겼다.

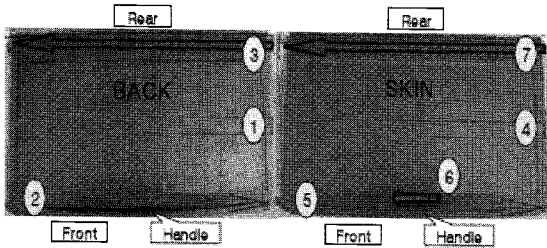


Fig. 9 Robot moving pattern for back and skin surface

1) 뒷면(Back) 로봇트 분사 방법

① 시트 전면의 균일한 폴리우레탄 분사 : z 값 (1415)이 시트 상면의 원거리에서 시트 중앙위치의 위에서 좌로 분사(속도 340mm/s)

② Front 부위의 미성형을 보완하기 위한 분사: z 값 (1116)이 시트 상면과 근거리에서 Front 위치의 좌에서 우로 분사 (속도 1000mm/s)

③ Rear 부위의 미성형을 보완하기 위한 분사: z 값 (1100)이 시트상면과 근거리에서 Rear 위치의 위에서 좌로 분사 (속도 1100mm/s)

2) 표면(Skin) 로봇트 분사 방법

④ 시트 전면의 균일한 폴리우레탄 분사 : z 값 (1420)이 시트상면의 원거리에서 시트 중앙위치의 위에서 좌로 분사 (속도 340mm/s)

⑤ Front 부위의 미성형을 보완하기 위한 분사 : z 값 (1100)이 시트상면과 근거리에서 Front 위치의 좌에서 우로 분사 (속도 900mm/s)

⑥ Handle 부위의 미성형을 보완하기 위한 분사: z 값 (1125)이 Handle 상부 위치의 위에서 좌로 분사 (속도 1100mm/s)

⑦ Rear 부위의 미성형을 보완하기 위한 분사 : z 값 (1100)이 시트상면과 근거리에서 Rear 위치의 위에서 좌로 분사 (속도 950mm/s)

Front 와 Rear 부위의 제품 Design 이 완만한 곡선을 그리고 있어서, 직선 주행 중 중간 위치에 별도의 위치 Position data(s33, s65, s53)를 추가하여 미세한 미성형을 보완하였다. 분사 토출량을 증가시킬 경우에는 위와 같은 미세한 위치 제어가 필요하지는 않다.

Front 부의 토출량이 Rear 부의 토출량보다 많음으로 발포량에 따른 필요 시간의 조건과 주행 시간 단축 등의 부수적인 영향으로 Rear 부와 Front

부의 분사 순서를 Fig. 7 와 같이 Rear 를 먼저 분사할 경우보다 Fig. 8 과 같이 Front 의 분사를 먼저 하는 것이 제품 외관 상태가 좋다.

Table 2 Robtarget data for robot moving pattern(Fig. 8)

Shot	Robtarget	Velocity (mm/s)	x (mm)	y (mm)	z (mm)
1	p_22_s11	340	2030	-389	1415
	p_22_s12		2030	300	1415
2	p_22_s32	1000	1834	323	1116
	p_22_s33		1830	-1	1116
	p_22_s31		1833	-368	1116
3	p_22_s21	1100	2227	-357	1100
	p_22_s22		2228	322	1100
4	p_22_s41	340	2020	-402	1420
	p_22_s42		2020	310	1420
5	p_22_s62	900	1821	326	1100
	p_22_s65		1815	1	1100
	p_22_s61		1822	-366	1100
6	p_22_s63	1100	1850	-80	1125
	p_22_s64		1850	80	1125
7	p_22_s51	950	2227	-374	1100
	p_22_s53		2229	0.5	1100
	p_22_s52		2227	317	1100

2.4 GMPU 보드 시험

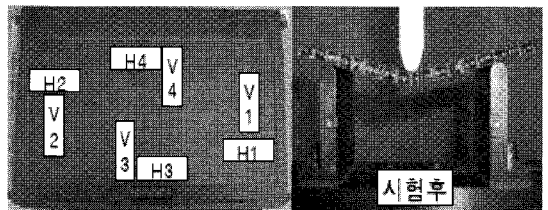


Fig. 10 Position of specimens and flexural test

Fig. 10 과 같이 시험편 50 * 150mm 크기로 보드의 전면에서 수평 방향 4 곳과 수직 방향 4 곳을 추출하였다. 굴곡강도 및 굴곡탄성률 시험은 ASTM D 790 에 규정한 방법에 따라 만능재료시험기에서 시험 속도 5 mm/sec, SPAN 길이는 100mm 로 하였다.

Fig. 9 와 Table 2 에서 ①, ④의 속도 조건은 V220~V340 까지 변화를 시키고 ②, ③, ⑤, ⑥, ⑦ 구간은 두께가 두꺼운 외곽지역으로 미성형 방지를 위해 속도변화를 주지 않은 동일 조건으로 분

사한 보드의 시편으로 시험을 하였다.

Fig. 11 과 Fig. 12 에서 보는 바와 같이 세로 방향에 비해 가로 방향의 굴곡강도와 굴곡탄성률이 좋은 것으로 나타난다. Honeycomb 의 6 각 구조를 이루는 결 방향이 가로 방향으로 구성되어 있는 것이 원인인 것으로 판단된다. Honeycomb 의 결 방향과 입자 셀 구조를 변경하면 수직방향도 향상될 것으로 생각된다.

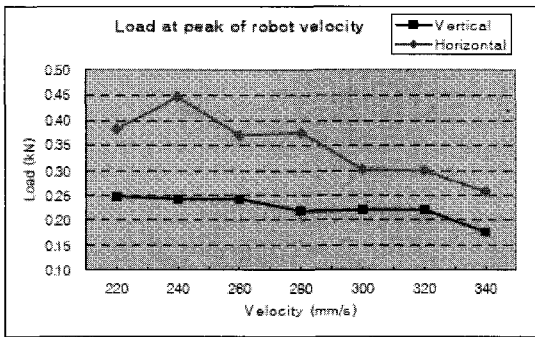


Fig. 11 Flexural load of board specimens according robot velocity(PU weight)

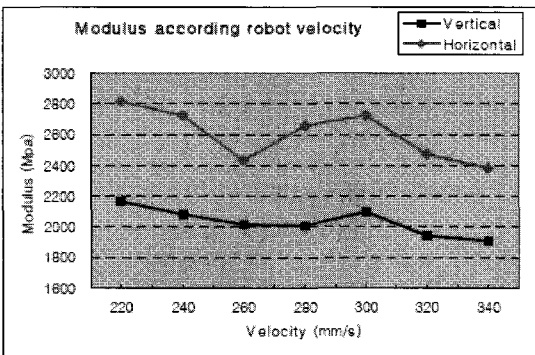


Fig. 12 Flexural modulus of board specimens according Robot velocity(PU weight)

Fig. 11 의 속도에 따른 세로 방향의 굴곡강도는 V320 속도까지는 거의 유사한 값을 이루고 있고, V340 이후에서 하강 곡선을 그린다. 가로 방향은 V280 까지는 높은 굴곡강도를 가지고 V320 까지는 약 0.3kN 수치로 나타난다. Fig. 12 의 속도에 따른 굴곡탄성률을 살펴보면, 세로 방향은 V300 까지 2000Mpa 이상이고 가로 방향은 V320 까지 2400Mpa 이상으로 나타난다.

그리고 Table 3 은 각 속도에 따른 폴리우레탄 분사량과 굴곡시험 결과를 정리한 것이다. 노즐의

Table 3 Flexural properties of board specimens according robot velocity

No	Robot Velocity (mm/s)	PU spray Weight (g)	Load at peak (kN)		Stress at peak (Mpa)		Modulus (Mpa)	
			vertical	horizontal	vertical	horizontal	vertical	horizontal
1	220	640.8	0.246	0.381	20.43	31.91	2187.4	2818.5
2	240	610.0	0.243	0.445	20.52	37.29	2085.8	2728.0
3	260	581.8	0.242	0.370	20.52	31.45	2013.2	2435.3
4	280	550.0	0.218	0.375	18.56	31.91	2009.7	2659.4
5	300	534.5	0.220	0.301	18.79	25.52	2098.5	2728.0
6	320	514.1	0.220	0.298	18.82	25.64	1945.3	2478.4
7	340	499.3	0.177	0.257	15.14	21.82	1906.4	2382.4

막힘에 따른 압력 변화와 시트 위에 폴리우레탄 고압 분사시 시트 처짐 현상에 z 축 편차에 따른 폴리우레탄 분사량의 편차와 Glass mat 와 Honeycomb 의 밀도 편차 등의 이유로 각 시편에 편차가 일부 발생되는 것으로 판단된다.

3. 결론

본 연구는 발포 약품의 특성에 맞춘 미세한 조직의 발포셀 생성을 위한 발포기 조건 설정과 로봇 주행 속도에 따른 분사량 설정과 위치 조건 및 주행 방법에 따른 최적의 보드 성형의 조건을 도출하고자 하였다. 그리하여 외관상의 미성형, 기포, 표면 요철 등의 품질 산포를 최소화하고 분사 속도에 따른 보드 중량별 굴곡강도와 굴곡탄성률 조건을 도출하여 차후 GMPU 를 이용한 보드생산 시 폴리우레탄의 분사량을 결정하기 위한 공정 조건을 도출하는데 노력을 기울였다. 최종적으로 중량감소, 원가절감, 품질 만족 세가지 조건을 만족한 공정 조건을 도출하고자 하였다.

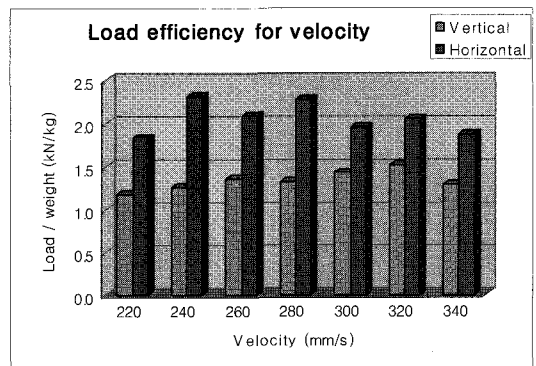


Fig. 13 Load efficiency (Load/weight) for velocity

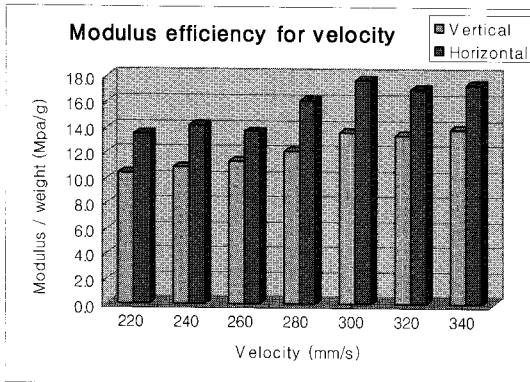


Fig. 14 Modulus efficiency (Modulus/weight) for velocity

1) Fig. 13 과 Fig. 14 의 V220~V340 별로 중량 대비 굴곡강도와 굴곡탄성율을 비교해 본 결과 중량 감소에 따른 경량화 부품 개발과 원가절감 측면에서 V300~V340 이 가장 효율적인 것으로 보여진다.

2)수평방향의 높은 강도를 요구할 경우에는 V240~V280 에서 조건을 설정하는 것이 효율적인 것으로 보여진다.

3) 전체 분사에 해당하는 구간의 1), 2)의 조건을 고려하고 외관부분과 보드의 두께가 상대적으로 두꺼운 특정부분은 별도의 주행 위치를 선정하고 고속 분사를 하여 중량 감소와 외관 품질 향상을 얻을 수 있다.

4) 그외 본 연구에서는 다루지 않았지만 Glass mat, Honeycomb 과 폴리우레탄과의 접착력을 향상시키기 위해 Honeycomb 의 접촉 면적이 넓은 것으로 변경할 경우, 폴리올과 이소시아네이트의 분사량을 좀 더 줄일 수 있을 것으로 예상된다.

참고문헌

1. Cho, K., "Automotive Materials of the 21st Century," Information Center for Materials, Vol. 1, pp. 87-90, 2000.
2. Han, G. J., Ahn, C. W., Ahn, S. C., Hong, D. K. and Han, D. S., "Modal Analysis of Sandwich Plate Structure Considering Buckling," J. of KSPE, Vol. 19, No. 6, pp. 104-108, 2002.
3. Seong, D. Y., Jung, C. G., Yoon, S. J., Yang, D. Y. and Ahn, D. G., "Formulation of Optimal Design Parameters and Failure Map for Metallic Sandwich Plates with Inner Dimpled Shell Structure Subject to

- Bending Moment," J. of KSPE, Vol. 23, No. 8, pp. 127-136, 2006.
4. Seo, J., Hong, D. K. and Ahn C. W., "Optimum Design of the Laminated Composite Sandwich Plate Structure of Honeycomb Core considering Vibration Characteristics," Proceeding of KSPE Autumn Conference, pp. 710-715, 2001.
5. Choi, D. J. and Park, H. S., "Optimization of multi-component injection molding process with skin layer," Proc. of KSAE Spring Conference, Vol. 3, pp. 1601-1606, 2007
6. Lee, K. S. and Lee, K. S., "Development of the Lightweight Multi-layered board with High Stiffness for Automotive Interior Trims," Trans. of KSAE, Vol. 15, No. 3, pp. 41-46, 2007.
7. Krauss Maffei, "Applications for polyurethane spray-molding," Trans. of Krauss Maffei Spray Technology, pp. 4-11, 2007.
8. Hwang, Y. D., Cha, S. W., Yoon, J. D. and Kim, J. H., "A Change of Foaming Magnitude as Thickness of Mold System ," J. of KSPE, Vol. 17, No. 10, pp. 186-191, 2000.
9. Park, H. S. and Pham, N. H., "New Approach to Optimized Conformal Cooling Channel for Plastic Injection Molding," Fall Conference Proceeding of KSAE, No. 4, pp. 1797-1802, 2007.
10. ABB, "RAPID Instruction, functions and data types by technical reference manual," Trans. of ABB ROBOT, pp. 955-957, pp. 1005-1008, 2007