

자동차용 SEAT FOAM 제조공정의 CFC 100%삭제

글 · 김용만
현대자동차 (주) 시트공장 과장

(BUBBLES)나 GAS의 개입으로 수지되는 단계이며 ISOCYANATE와 WATER의 반응에서 생성되는 CO₂ GAS가 이용된다. 이 반응에서는 발포에 필요한 CO₂ GAS의 생성

뿐만 아니라 FOAM HARDNESS를 결정하는 HARD SEGMENT인 POLYUREA가 생성되며 자동차 SEAT용 발포공정에서의 CFC삭제를 위해서 이 POLYUREA 생성을 조정 및 억제하는 것이 현대자동차가 기울여온 주요과제이었다.

자동차용 SEAT FOAM 제조공정의 CFC 100%삭제

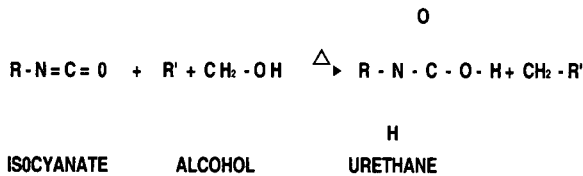
1. 서론

1. URETHANE의 생성과정

가. 수지화 반응

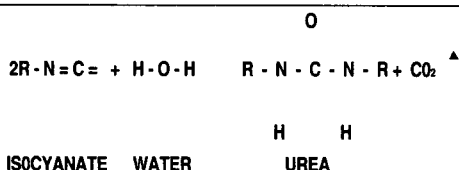
POLYURETHANE을 생성하는 주반응은 ISOCYANATE기 (-NCO)와 OH기의 반응으로 다음과 같다.

이 반응 발열반응으로 URETHANE 1MOLE당 24kcal의 열을 방출한다.



나. 발포화 반응(GAS화)

상기 수지화 단계에서 생성된 수지가 FOAM화 되기위해 기포



2. CFC를 사용한

SEAT FOAM 제조공정

가. CFC의 특성 및 역할

(1) FREON 11의 물리적 성질

구조식 CCl₃F, 분자량 137.4

비점 23.8°C 무형투명, 무취
고농도 GAS의 경우에는 산소결
핍에 따른 위험이 있지만 독성/
자극성이 없음

인화폭발의 위험 없음
열에 대해 안전하여 쉽게
분해되지 않음

화학적으로 불활성, 부식성 없음
열전도가 낮고 단열성이 우수하
며 경제성이 있음

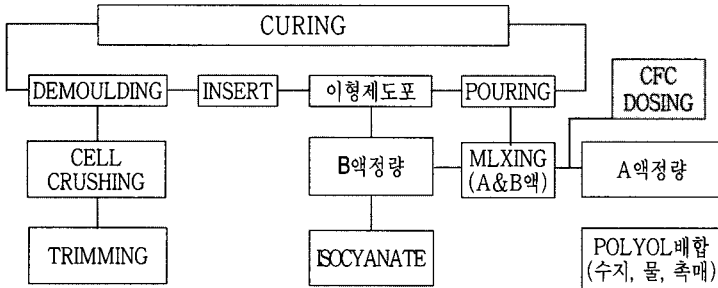
(2) SEAT FOAM

제조공정에서의 역할

발포제 ————— 화학적 발포제: WATER
물리적 발포제: CFC

CFC는 수산화반응에서 생성되는 열에 의해 쉽게 GAS화 되어 물리적 발포제 역할을 함

나. 양산공정에서의 사용 예



즉 CFC는 A액(POLYOL SIDE)이 발포기 주입 HEAD에 고압으로 정량, 이송/공함된다.

3. CFC 삭제시 예상문제 및 대책

CFC 삭제후 발포제로서 WATER만을 사용함에 따라 이것을 "ALL-WATER- BLOWN" FOAM이라 부른다. 이 물발포 FOAM SYSTEM은 환경적 측면에서는 가장 좋은 방법이라고 할수 있으나 사용되는 물의 양이 증가함에 따라 제조공정 측면에서는 여러가지 해결해야할 과제가 수반되며 이를 요약하면 다음과 같다.

구 분	제조공정상 문제점
▶ FOAM DENSITY 상승	중량상승(제조원가)
▶ FOAM 물성 악화	FELLING, 내구성 저하
▶ 흐름성(형내)악화	UNFILL, COLLAPSE증가(불량율)
▶ CURE성 부족	재공시간 상승, 작업성 저하

이중 제조원가 상승문제를 해결하기 위해서는 동일 FOAM DENSITY를 유지함과 동시에 물 사용량 증가에 따른 FOAM HARDNESS 상승을 억제하는것이 주요 연구개발 과제이며 이에 대한 (주)현대자동차의 APPROUCH 방법을 요약하면 다음과 같다.

가. COLD CURE FOAM SYSTEM

사용되는 CFC의 량이 소량 (POLYOL 100에 대해 2~3pbw)이었다면 ISOCYANATE INDEX 만을 조절함으로 해결가능할수 있었겠으나 HMC의 경우, 다량의 CFC(9 pbw)를 사용했으므로 배합되는 성분에 대한 근본적인 재

조정이 필요했음. 즉 POLYOL, ISOCYANATE의 비와 사용되는 가교제 TYPE, 량에 대한 재조정이었음

나. HOT CURE

FOAM SYSTEM

이 SYSTEM은 COLD CURE FOAM과 달리 배합조성비의 변경이 매우 제한적인 특징이 있으므로 FORMULATION 조정만으로는 FOAM HARDNESS 상승문제를 해결하기엔 부족하다. 따라서 HARDNESS SEGMENT인 POLYOLREA GROUP내의 수소원자결합형성을 부분적으로 방해하는 CATALYSIS의 조절연구가 병행되었다.

II. 연구내용및 방법

1. LABORATORY TEST

가. 실험조건

(1) CALD CURE

FOAM SYSTEM

PREBLENDED POLYOL ("COMPONENT A")과 ISOCYANATE 2성분을 HK-650 고압발포기를 이용, 발포 평가

(가) 사용 MOLD

· 사각 ALUMINIUM형
400×100×100mm

(나) 발포조건

- MOLD 온도
55±3℃(주입시)
- DEMOLD TIME
4.5 MIN(주입후)
- CRUSHING
DEMOLD후 즉시

(2) HOT CURE FOAM SYSTEM

6성분 ADMIRAL 저압발포기를 사용, WATER에 GELLING 촉매, BLOWING 촉매, SURFACTANT등을 혼합하고 TIN촉매(T-9)는 POLYOL과 PREBLEND하여 POLYOL, 단열제 및 ISOCYANATE 각 성분을 별송 정량공합하여 혼합발포.

(가) 사용 MOLD

- ALUMINIUM형 400×100×100mm

(나) 발포조건

- MOLD 온도 45±2℃(주입시)
- DEMOLD TIME 14 MIN(주입후)
- CURE 온도 분원기온도 200℃

나. FOAM TESTING

(1) CONDITIONING

- FOAM PAD CURE TIME : DEMOULD후 7일
- FOAM SPECIMENS : 22℃, 50% RH (6시간)

(2) TEST METHOD (MS 200-34)

〈표1〉 자동차용 SEAT FOAM의 목표물성

FOAM PROPERTY	TEST METHOD	UNIT	VAULES	
			COLD	HOT
▶ CORE DENSITY	MS200-34-4.1	kg/m ³	46 ± 3	28 ± 3
▶ I. L. D 25% 65% SAG FACTOR	MS200-34-4.8	kg/m ³	OPTION	OPTION
▶ COMP SET 80℃, 75%	MS200-34-4.9	%	MAX. 25	MAX. 30
▶ RESILIENCE	MS200-34-4.15	%	MIN. 55	MIN. 30
▶ TENSILE STRENGTH	MS200-34-4.2	kg/m ³	MIN. 0.5	MIN. 0.5
▶ ELONGATION	MS200-34-4.2	%	MIN. 120	MIN. 140

2. LINE TEST

사각 ALUMINIUM형(400×400×100mm)을 사용하는 대신, 실제 양산 발포금형을 사용한 조건외는 LABORATORY TEST와 동일.

3. 결과 및 고찰

가. COLD CURE SYSTEM

(1) POLYOL

FOAM HARDNESS는 실제 사용하는 POLYOL의 분자량에 따라 상당한 영향을 받는 것이 밝혀졌다. 즉 HMC가 사용한 POLYOL은 MHR-200(MOL. Wt 4500)과 MHR-300 (MOL. Wt 6000)으로 〈표2〉에서 볼수 있듯이 MHR-200을 MHR-300으로 대치사용함에 따라 약 22%의 FOAM HARDNESS 감소를 보였다. 〈표2〉 FOAM HARDNESS에 대한 POLYOL 분자량의 영향

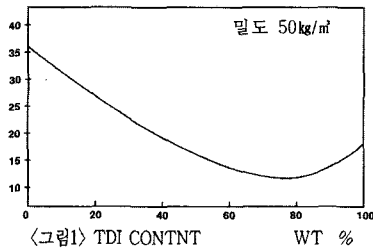
POLYOL	MHR-200	MHR-300
FOAM PROPERTIES; DENSITY kg/m ³	50	50
ILD 25% kg/m ³	33.8	26.3

이 시험결과에 따라 이후 시험의 BASE POLYOL로써 MHR-300(MOL. Wt 6000)을 사용하였다.

(2) ISOCYANATE

ISOCYANATE에는 보통 TDI 80 이라 불리는 80/20 ISOMER를 사용하는 ALL TDI BASED FOAM으로 부터 MODIFIED TDI PURE MDI, MODIFIED MDI 및 CRUDE (POLYMERIC)MDI와 TDI 의 BLEND FOAM에 이르기까지

폭넓은 선택의 소지가 있다. 일반적으로 MDI BASED FOAM은 보다 낮은 NCO함량에 따라 TDI에 비해 보다 밀도가 높은 FOAM을 일반적으로 얻게 되며 MODIFIED TDI 역시 TDI 80이나 TDI 및 CRUDE MDI BLEND품보다 활성 NCO함량이 적기때문에 마찬가지로 결과를 확인할 수 있다. 따라서 FOAM DENSITY면만을 고려한다면 ALL TDI BASED FOAM이 보다 유리할 수 있으나 높은 증기압으로 작업환경상 불리하고 가격적인 제한사항으로 인해 HMC의 경우는 ALL MDI BASED FOAM에서 부터 연구/개발을 시작하였으며 <그림1>은 MDI/TDI 무게비를 100/0에서부터 0/100까지 변화시켰을때 FOAM HARDNESS 변화시험 결과를 나타낸것이다.



즉 TDI 80이 80% BLEND되었을 때 FOAM HARDNESS가 가장 낮음을 알수있었으나 앞에서 설명한 작업환경적인 측면(냄새)과 그 SYSTEM 가격이 유리한 TDI 80이 20% BLEND된 SYSTEM를 기준으로 시험을 진행했으며 그 결과는 <표3>과 같다.

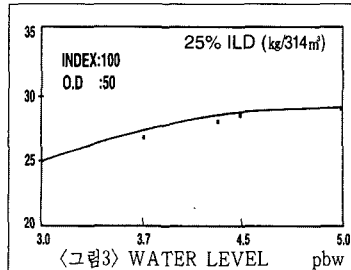
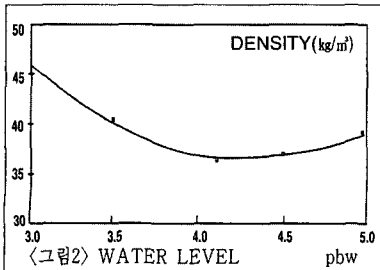
<표3> ISOCYANATE의 활성 NCO함량이 HARDNESS

ISOCYANATE	MC81	1MC 77
NCO CENTENT %	25	35.5
MOULDED DENSITY kg/m³	50	50
ILD 25% kg/m²	33.8	29.7

이 결과에 의하면 동일 FOAM DENSITY를 유지하면서 FOAM HARDNESS가 약12% 정도 감소됨을 알 수 있었다.

(3) WATER

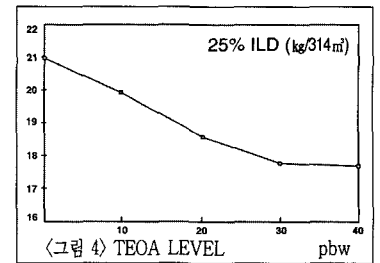
이 WATER LEVEL의 변화는 그 어떤 COMPONENTS보다 FOAM DENSITY에 민감하여 MHR-300, MC-77을 기준으로하여 WATER LEVEL은 변화시켰을때 FOAM DENSITY의변화와 FOAMHARDNESS 변화를 <그림2>와 <그림3>에 나타내었다.



<그림2>와 <그림3>에서 알수있듯이 WATER LEVEL의 증가는 FOAM DENSITY 감소와 동일 DENSITY에서의 FOAM의 경도를 증가시키나, WATER LEVEL 4.2pbw이상 증가에는 거의 변화가 없음을 알수 있다.

(4) 가교제(CROSS-LINKER)

FOAM 지방에서의 CROSS-LINKER의 소량첨가는 FOAM 경로를 감소시키는 효과가 있음 <그림4>의 실험에서 알수 있다. 이것은 CRUDE MDI를 사용하여 TDI를 부분적으로 대체했을때의 결과와같은 이유로 설명될수 있다.



즉 0.15pbw까지 첨가하는 UREA결합을 분열시켜 FOAM 경도에 강하게 영향을 주는 수소결합의 형성을 감소시키고 더욱 첨가되는 증가되는 관능기수로 가교결합의 증가로 FOAM의 HARDNESS가 상승되게 되는것이다. 또한 TEOA (TRIETHANOLAMINE)은 친수성 (HYDROPHILIC)을 나타내므로 FOAM의 CREAM TIME을 지연시키고 이에 따라 FULL RISE TIME이나 TACK FREE TIME에 영향을 주지않으면서 FOAMING의 시점을 지연시킴으로써 MOLD내 원액의 흐름성을 향상시키는 효과가 있다.

(5) 각성분의 효과종합

이상에서 각 성분별로 확인된 효과들을 한가지 배합비로 조합하여 구 재현성을 확인한 결과, MDI SYSTEM별로 다소 차이가 있었지만 경향은 큰 차이가 없었으며, <표4>에서 그 배합결과를 표시하였다. #2공장 SYSTEM에서는 가능한 ISOCYANATE쪽은 변화시키지 않으면서 고분자량의 POLYOL(md wt 6000)과 WATER PART를 대폭적으로 증가(3.4→4.0pbw)함으로써 FOAM 밀도의 상승을 억제하는 한편, ALL WATER BLOWN SYSTEM에서 나타나는 발포압 증가에 따라 FOAM CELL이 불안정해지는것을 보완시키기위해 SILICONE SURFACTANT을 조정함과 동시에 CELL OPENER를 추가

사용하여 발포 FOAM을 안정화시켰다. 그리고 # 3공장 원료 (MDI/TDI BLENDED)에서는 WATER PARTS의 증가를 억제하는 대신에 ISOCYANATE내의 활성 NCO함량을 증가시켜 FOAM HARDNESS의 증가를 억제하는 방법을 택하면서 발포 FOAM 안정화를 위해 CELL- OPENER (FA-103)를 대폭증가(1.35→2.00PBW)사용하였음을 알 수 있다. <표5>에서는 위에서 설명한 방법과 같이 실험, 조정된 FORMULATION으로 얻어진 MOULDED FOAM의 각 물성치가 기존의 CFC SYSTEM과 비교하여 큰 차이가 없으며 <그림5>에서는 정하중 GRAPH의 결과치가 동일함을 보여준다.

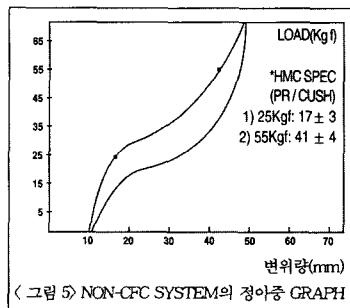
나. HOT CURE SYSTEM

(1)POLYOL

일반적으로 자동차용 BACK FOAM PAD에서 요구되는 물성치는 CHSHION FOAM PAD와 비교하여 반복하중에서 FOAM PAD의 내구성이 떨어진다. 따라서 COLD CURE FOAM에 일반적으로 사용되는 고분자량의 POLYMER POLYOL이 사용되지 않고 분자량 3000정도의 BASE POLYOL들이 사용된다. 따라서 기존의 배합/처방만의 조정으로는 물 사용량증가에 수반되는 여러가지 부정적 변화들을 보완하기에는 부족하다. HMC의 경우는 기존의 BASE POLYOL에다 SOFT POLYOL을 혼합, 사용한 경우이며 이 SOFT POLYOL은 POLYO를 구성하고 있는 GLYCERINE, EO(ETHYLENE OXIDE) 및 PO(PROPYRENE OXIDE)의 분자간 결합들이 RANDOM하게 연결되어있음에 따라 BLOCK 형태의 결합 구조보다 입체구조적으로 연성효과를 가진다고 설명될수 있으며 <그림 6>에 이 SOFT POLYOL의 첨가량 변화에 따른 FOAM HARDNESS 감소효과를 나타내었다.

<표4> MID STSTEM별 CFC/NON-CF용 FORMULATION의 비교

LINE구분	FORMULATION		
	COMPONENTS	CFC	NON-CFC
#2 공장 (ALL MDI)	PPG	100.00	←
	WATER	3.40	4.00
	DEOA	0.40	0.30
	DABCO-33LV	0.70	0.60
	B-4113	0.30	0.80
	TEOA	-	0.12
	A-1	-	0.05
	CELL-OPENER	-	2.00
	DETDA	-	0.50
	R-11	9.00	-
#3 공장 (MDI/TDI)	ISOCYANATE	70.00	←
	PPG	100.00	←
	WATER	3.20	←
	DABCO-33LV	0.70	0.55
	DEOA	0.80	←
	TEOA	0.50	-
	A-1	0.12	←
	SRX-274C	0.50	←
	FA-103	1.35	2.00
	R-11	10.00	-
ISOCYANATE	74.40	47.50	

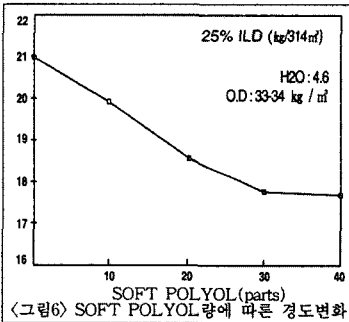


<그림 5> NON-CFC SYSTEM의 정하중 GRAPH

〈표5〉 MID별 CFC/NON-CFC용 SYSTEM의 물성비교

FOAM PROPERTIFS		ALLMDI BASED		MDI/TDI BLENDED	
		CFC	NON-CFC	CFC	NON-CFC
CORE DENSITY	kg/m ³	53	54	50	52.8
ILD (kg/314m ²)	25%	59	58	33.8	33.7
	65%	158	171	116.8	119.4
TENSILE STRENGTH	kg/m ²	1.8	1.34	2.00	2.42
TEAR STRENGTH	kg/m ²	0.7	0.57	0.86	0.98
ELONGATION	%	120.0	120.0	130.0	140.0
RESILIENCE	%	55.0	58.0	57.0	58.0
COMPRESSION SET (80℃, 75%)	%	10.2	14.7	10.6	12.8

용으로 생성되는 UREA의 형성은 FOAM HARDNESS 상승의 요인이 된다는것은 앞에서도 설명이 되었다. 〈표6〉에서 HOT CURE FOAM SYSTEM의 배합처방을 〈표7〉에는 물성비교치를 나타내었다. 〈표6〉에 알 수 있듯이 NMM(N-METHYL MORPHOLINE)의 대폭 증가. 사용과 GEL화 반응의 CATALYST인 T-9의 소폭증가 및 SILICONE SURFACTANT인 L-5740의 변경사용은 WATER사용량 증가에 수반되는 문제점인 FOAM 안정성을 확보키 위해 조절, 사용된것으로 설명할수 있다.〈그림8〉과 〈그림9〉에 NMM사용량 증가에 수반되는 문제점인 FOAM의 DENSITY와 HARDNESS변화를, 〈그림10〉에는 정

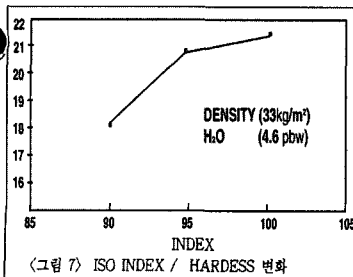


(3) CATALYSI

CFC를 삭제하고 WATER사용량 증가에 따라 FOAM의 안정성이 악화되고 ISOCYANATE와의 반

(2) ISOCYANATE

HOT CURE FOAM SYSTEM의 ISOCYANATE는 TDI80로 WATER 사용량 증가에 따른 FOAM 경도의 상승(동일밀도 기준)을 보완하기위해 ISOCYANATE INDEX DOWN(100→90)이 한 방법으로 사용되었으며, 이 INDEX 변경에 따른 FOAM 경도의 감소효과를 〈그림7〉에 나타내었다.

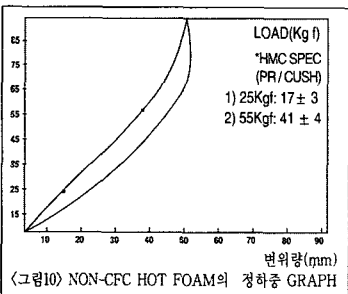
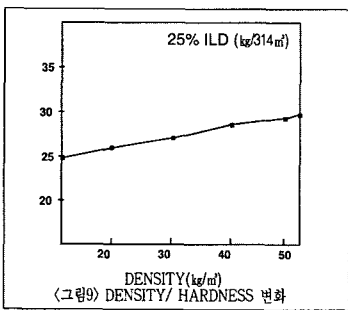
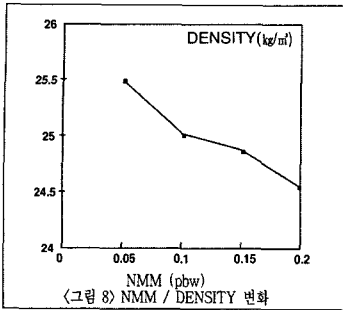


〈표6〉 HOT CURE FOAM의 CFC / NON-CFC 처방비교

COMPONENTS	CFC	NON-CFC
PPG	100.00	←
WATER	4.20	4.80
DABDO-33LV	0.27	0.25
NMM	0.05	0.15
L-5740M	1.20	-
L-5740S	-	1.50
T-9	0.05	0.06
CR-530	4.00	4.00
R-11(CFC)	5.00	-
ISOCYANATE	48.90	49.30

〈표7〉 HOT CURE FORM의 CFC / NON - CFC 처방시 물성비교

FOAM PROPERTIES	CFC	NON-CFC
CORE DENSITY	29.2	28.4
ILD (kg/314m ²)	25%	33
	65%	70
TENSILE STRENGTH	1.28	1.48
TEAR STRENGTH	0.8	1.27
ELONGATION	150	180
RESILIENCE	42	43
COMPRESSION SET (80; , 75%)	14.2	18.2



하중 GRAPH를 나타내었다.

III. 결론

1. SYSTEM별

가. COLD CURE FOAM

(1) ALL MDI BASED SYSTEM
HMC의 공정특성(작업자 환경, 높은 생산성)과 국내시장의 특수한 여건상, TDI에 비해 상대적으로 저가적인 MDI는 가능한 변화시키지 않고 고분자량의 POLYOL(MHR-300)과

WATER의 증가사용으로 FOAM HARDNESS 상승문제를 보완하였으며, FOAM의 안정성을 확보하기 위한 GEL화 촉매(A-1)사용, 이에따른 CLOSE CELL상승을 CELL OPENER 추가사용으로 해결함.

(2) MDI/TDI BASED SYSTEM

ALL MDI와는 다른 방향으로 WATER PARTS의 증가를 억제시킨 대신에 MODIFIED MDI에 NCO함량을 높이기 위해 TDI 80을 20%정도 PRE-BELENDED하여 FOAM HARDNESS를 감소시켰으며 FOAM STABILITY확보를 위해서 기존의 사용 가교제중 TEOA를 삭제하고 CELL OPENER를 추가사용하여 배합조성비의 불균형을 조절하였음.

나. HOT CURE FOAM

SOFT POLYOL을 사용해 FOAM HARDNESS상승을 보완시키고 FOAM STABILITY 확보를 위해

NMM의 대폭사용과 SILICONE SURFACTANT의 변경, 조정으로 해결함.

2. 상용효과

가. CFC 100%삭제

- (1) HMC 자체 절감량 : 390 TONS/년
- (2) 국내 전체 절감량 : 780 TONS/년 (HMC M/S 50% 및 각사별 CFC 사용량 동일 PARTS 기준)

나. FOAM 물성개선

다. 제조원가 절감

CFC 삭제 및 원료 SYSTEM RATIO 변경 : 820 원/대 → 820 원/대 × 115 만대/년 = 9억 4천 3백 만 원/년

V. 참고문헌

1. FLEXIBLE POLYURETHANE FOAMS (DOW PLASTICS CO.)
2. UTECH ASIA '95 CONFERENCE.

LINE	사용차종	년간생산량 ('96년 기준)	원료 사용량 (포리올 g/량)	CFC USAGE (대당g/년 TON)
#1 BACK	ACCENT	389,200	2,355	69.9 / 27.2
	GRANDEUR	45,000	3,238	101.2 / 4.6
	STELLAR	7,000	3,091	106.7 / 0.8
	GRACE	98,800	6,000	300 / 29.6
#2 CUSH	SONATA	286,700	3,422	342.2 / 98.1
#2 BACK	SONATA	286,700	3,183	104 / 29.8
#2 CUSH	AVANTE	387,100	3,806	380.6 / 147.3
#2 BACK	AVANTE	387,100	3,806	380.6 / 147.3
			TOTAL / 년	390.2

PROPERTIES	HOT-FOAM		COLD FOAM	
	CFC	NON-CFC	CFC	NON-CFC
INDEX	100	90	110	110
밀도 (kg/m³)	29.2	28.4	50	52.8
인장강도 (kg/m²)	1.28	1.48	2.0	2.42
신율 (%)	150	180	130	140
내구력 (%)	6.6	6.8	10.8	3.4