

악안면 보철용 폴리우레탄과 실리콘의 접착도에 관한 실험적 연구

단국대학교 치과대학 보철학교실

조상준 · 임주환 · 조인호

I. 서 론

악안면 보철이란 결손된 악안면 부위를 인공 대체물을 사용하여 해부학적으로나 기능적, 심미적으로 재건하는 과학이자 예술로 정의할 수 있다.

오늘날 인간의 평균수명이 연장되고 악안면 부위의 악성종양 빈도가 증가함에 따라 악안면 결손 환자의 수는 점차 늘어나고 있는 추세이고 또한 오존층 파괴와 같은 환경변화에 의한 피부종양이나 선천성 기형, 그리고 다양한 원인에 의한 외상들도 악안면 결손을 증가시키는 원인으로 볼 수 있다¹⁸⁾. 이처럼 악안면 보철의 필요성이 인식됨에 따라 악안면 보철재료 분야에서도 많은 발전을 이루어 왔다^{9, 20, 25, 26)}.

악안면 보철물에 사용되는 재료로 초기에는 나무, 상아, 밀납, 금속 등이 이용되었으며²⁸⁾, 1945년 Clarke⁸⁾가 레이텍스 고무로 악안면 보철물을 제작하는 방법을 언급한 이래 폴리비닐 클로라이드(polyvinylchloride), 애크릴릭 레진(acrylic resin), 폴리우레탄(polyurethane), 폴리메틸 메타아크릴레이트(PMMA), 실리콘(silicone) 등 많은 재료들이 연구되고 실제로 악안면 보철환자에게 사용되었으나 인체조직을 대체할만한 이상적 재료는 아직도 밝혀지지 않고 있다^{14, 36)}.

이상적인 악안면 보철재료가 갖추어야 할 요구조건들을 살펴보면 생체적 합성이 좋고, 화학물이나 환경으로부터 저항성이 있으며,

무게가 가볍고, 제작 및 관리가 용이하며 경제적이여야 하고 또한, 물리적 성질이 우수해야 하며 심미적으로도 어느정도 만족스러워야 한다고 보고되고 있다^{6, 7, 24, 27, 30, 31, 40)}.

많은 재료들 중, 1960년 Barnhart¹⁾가 처음으로 구강의 보철물로 사용한 실리콘은 화학적으로 불활성이고 내구성 및 강도가 우수하며 조작이 용이할뿐만 아니라 심미적이어서 악안면 보철재료로 널리 사용되고 있으나^{5, 10, 17, 31, 37)}, 약한 찢김강도, 낮은 접착특성, 비젖음성(non-wettability), 비 연마성, 세균 성장 가능성, 오일과 그리스(grease)의 흡수 등의 문제점들을 가지고 있는 것으로 보고되고 있다³⁸⁾.

특히, 실리콘은 변연강도가 약해 연조직과 자연스럽게 구부러지도록 가장자리를 얇게 만드는 것이 어렵다. 이러한 단점을 극복하기 위해 1987년 Udagama³⁹⁾는 실리콘을 폴리우레탄 판과 접착하여 사용하는 것을 제안하였으며, 실리콘과 폴리우레탄 판을 동시에 사용하면 보철물은 변연강도, 접착제에 대한 적합성, 피부오일에 대한 저항성 등이 우수해지고 가장자리가 심미적이 된다고 보고하였다. 또한 실리콘과 폴리우레탄 판 사이의 접착강도는 primer에 의해 증가한다고 보고되고 있으나 두 재료 사이의 접착실패는 여전히 임상적인 문제점으로 남아있다^{38, 39)}.

Primer는 처음 치과용보다는 공업용으로 개발되었으며, 다양한 재료에 적용되어 기(radical)를 형성하여 결합을 증가시킨다. 그러나,

이들을 악안면 보철에 이용하는 기술은 주로 경험적 방법에 의해 개발되어 왔다²⁹⁾.

따라서 본 연구에서는 흔히 사용되는 primer 즉 1205, S-2260, A-304를 폴리우레탄 판에 다섯가지 서로 다른 시간동안 작용시킨 후 실리콘과 접착시켰다. 이를 각각 3가지 다른 중합 방법(room temperature method, dry-heat oven method, microwave oven method)으로 중합하였을 때, 이에 따른 실리콘과 폴리우레탄 판 사이의 접착강도 변화를 보고자 하였다.

II. 실험 재료 및 방법

1. 실험재료

본 실험에서는 Table 1에 정리한 바와 같이 두 가지 RTV(room temperature vulcanizing) 실리콘 [Silastic[®] MDX4-4210 Medical Grade Elastomer(Dow Corning., USA)와 Silastic[®] Medical Adhesive Type A(Dow Corning., USA)]을 부피비 40 : 60으로 혼합하여 사용하였으며, 두께가 0.020cm되는 폴리우레탄 판(polyurethane sheet ; Factor II, Inc., USA)과 세가지 primer ; 1205(Dow Corning., USA), S-2260(Dow Corning., USA) 및 A-304(Factor II, Inc., USA)를 사용하였다.

2. 시편제작

시편은 Table 2에 열거한 바와 같이 세가지

primer의 종류(1205, S-2260, A-304)에 대해 5개의 중합시간(1, 2, 4, 6, 8시간) 및 3가지 중합방법(RT ; room temperature method, DO ; dry-heat oven method, MW ; microwave oven method)에 따라 6개씩 총 270개를 다음과 같이 제작하였다.

1) 석고음형(gypsum mold) 형성

임상에서 사용하는 것과 같이 실리콘을 석고음형에 넣고 중합하기 위해 먼저 금속주형을 미국 치과의사협회 규격 12(ADA specification No. 12)의 규정에 따라 아래쪽으로 가면서 약간 줄어드는 65(64)×62(61)×5mm의 크기로 제작하였다(Fig. 1).

표준의치함(Teledyne Hanau, USA)을 이용하여 금속주형이 하함에 완전히 묻히도록 치과용 석고로 매몰하여 상함은 평평한 석고면을 가지도록 하였으며, 석고가 완전히 경화된 후 금속주형을 제거하여 석고음형을 완성하였다(Fig. 2).

2) 폴리우레탄 판의 적합

임상에서 사용하는 것과 같이 폴리우레탄 판을 진공압착기(vacuum-forming machine ; Truform, USA)에 올려, 투명해지고 충분히 늘어지도록 가열한 다음 상함의 평평한 석고면에 적합시켰다(Fig. 3).

T-peel 결합강도 측정 실험시에 시편을 잡을

Table 1. Material summary

Materials	Types	Sources
Silicone elastomer mixture	Silastic [®] MDX4-4210 Medical Grade Elastomer	Dow Corning., USA
	Silastic [®] Medical Adhesive Type A	Dow Corning., USA
Polyurethane sheet	Polyurethane sheet (0.02 cm thickness)	Factor II, Inc., USA
Primer	1205	Dow Corning., USA
	S-2260	Dow Corning., USA
	A-304	Factor II, Inc., USA

Table 2. Experimental groups and numbers of specimens

Primer	Primer reaction time	No.	Polymerization method	Total
1205	1	6	three polymerization method (RT,DO,MW)	90
	2	6		
	4	6		
	6	6		
	8	6		
S-2260	1	6	three polymerization method (RT,DO,MW)	90
	2	6		
	4	6		
	6	6		
	8	6		
A-304	1	6	three polymerization method (RT,DO,MW)	90
	2	6		
	4	6		
	6	6		
	8	6		

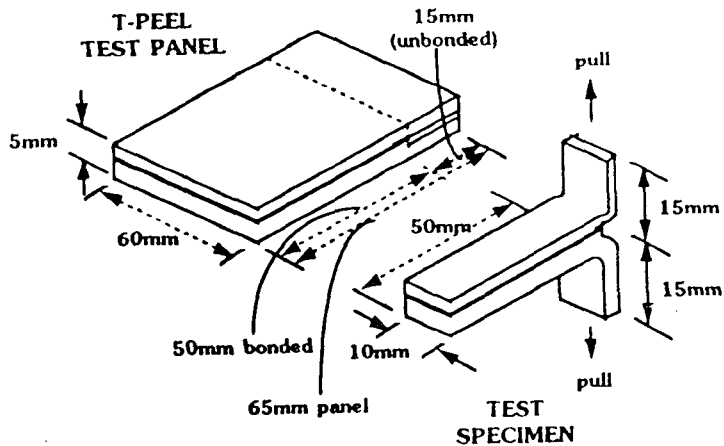


Figure 1. T-peel test panel and test specimen dimensions

부위는 실리콘과 폴리우레탄 판이 결합하지 않도록 하기 위해 접착 테이프(3M, USA)를 폭이 15mm 되도록 세로방향으로 붙였다(Fig. 4).

3) Primer의 도포

Primer를 도포하기 전에 불순물을 제거하기 위해 2×2inch 거즈에 아세톤(aceton)을 묻혀

폴리우레탄 판을 닦은 후, 각각의 primer 1025, S-2260, A-304를 도포하였다.

각각의 primer를 도포한 후 이를 각각 1, 2, 4, 6, 8 시간동안 먼지가 들어가지 않도록 깨끗한 천을 이용하여 덮어두어 primer의 작용시간을 달리하였다(Fig. 5).

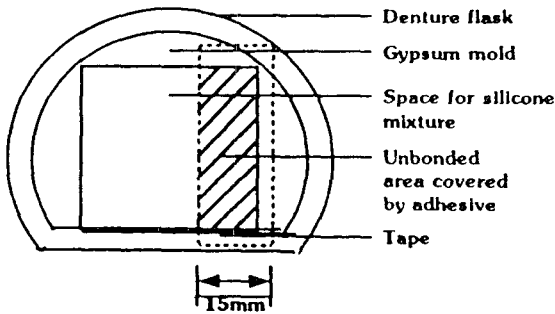


Figure 4. Diagram of the silicone mold in a denture flask

4) 실리콘의 혼합 및 석고주형내 주입

두가지 실리콘 재료 Silastic® MDX4-4210 (Dow Corning., USA)과 Silastic® Medical Adhesive Type A(SMA Type A : Dow Corning., USA)를 부피비 40 : 60으로 혼합하였다. 이때 기포를 최소화하기 위하여 28inch Hg vacuum하에서 수분간 교반한 다음 시린지(syringe)를 이용해서 혼합된 실리콘 재료를 준비된 각각의 석고음형내로 주의하여 주입하였다. 재료내의 모든 잔여기포가 빠져나오도록 주입이 끝난 상함을 덮지 않고 약 5분간 방지하였다^{16, 24)} (Fig. 6).

5) 실리콘과 폴리우레탄 판의 부착

먼저 primer로 처리된 폴리우레탄 판 위에 SMA Type A(Dow Corning., USA)를 튜브로 직접 고르게 도포한 후, 상함과 하함을 단교 표준 의치압력기(Tokuhama, Japan)로 50kg/cm² 압력을 가한 다음 클램프(clamp)에 넣고 손으로 조였다.

6) 실리콘의 중합

실리콘을 다음의 3가지 중합방법으로 중합하였다.

① 실온법(Room temperature method)

상온에서 24시간 동안 중합.

② 건조열 오븐법(Dry-heat oven method)

건조열 오븐(Dry-heat oven ; Yamato, Ja-

pan)을 이용하여 75°C에서 3시간동안 중합한 다음 다시 상온에서 24시간동안 중합.

③ 마이크로웨이브 오븐법(Microwave oven method)

마이크로웨이브 오븐(Microwave oven ; MR-230MF, GS, Korea)을 이용하여 2450 MHz에서 30분간 중합후 다시 상온에서 24시간 동안 중합.

7) T-peel 결합강도의 측정

실리콘과 폴리우레탄 사이의 T-peel 결합강도 측정은 Microprocessor Force Gauge(Mecmesin Inc., England)를 장착한 Semi-Automatic Test Stand(Mecmesin Inc., England)를 이용하여 미국재료시험협회, 즉 ASTM(American Society for Testing and Materials) C794-80²³⁾에 근거하여 평균 T-peel 결합강도를 측정하였다 (Fig. 7).

3. 통계처리

실리콘과 폴리우레탄 판 사이의 T-peel 결합강도에 primer의 종류 및 작용시간, 그리고 중합방법이 미치는 영향을 측정하기 위해 SPSS V5.02 for Win(SPSS Inc., USA)을 사용하였다.

각 군들이 정규분포(normal distribution)를 이루는지를 검사하기 위해 K-S test(Kolmogorov-Smirnov Goodness of Fit test)를 시행하였고, 세요소 즉 primer 종류, 작용시간, 중합방법이 결과에 미치는 효과를 측정하기 위해 ANOVA 검정을 하고 Multiple range test(Tukey's HSD test)를 통하여 각 군간의 유의성을 분석하였다.

III. 실험 결과

각 군의 정규분포 여부를 확인하기 위해 K-S test(Kolmogorov-Smirnov Goodness of Fit test)를 시행한 결과 모두 정규분포를 이루고 있음을 확인하였다.

세 요소 즉 primer 종류, 작용시간 및 중합방법이 T-peel 결합강도에 미치는 효과와 서로

간의 상호작용이 있는지를 검사하기 위해 ANOVA 검정을 실시한 결과, 세 요소간에 상호작용이 있음이 확인되어 한 요소의 효과를 측정하기 위해 다른 두 요소를 무시해서는 안 되었다. 따라서 한 요소의 효과를 알아보기 위해서는 먼저 다른 두 요소를 결정하고 비교해야만 하였다(Table 3).

각각의 primer 1205, S-2260, A-304에서, 작용시간 및 중합방법에 따른 T-peel 결합강도의 결과는 Table 4, 5, 6에 요약하였다.

Primer마다 각기 다른 작용시간 및 중합방법에 따라 T-peel 결합강도가 변화하는 양상을 보였다. 즉 primer 1205에서는 primer를 1시간동안 작용시키고 건조열 오븐에서 중합한 경우(924±128g/cm)가 가장 높은 T-peel 결합강도를 나타내었으며, 2시간 작용시키고 건조열 오븐에서 중합한 경우(760±103 g/cm), 1시간 작용시키고 마이크로웨이브 오븐에서 중합한 경우(549±149 g/cm), 2시간 작용시키고 마이크로웨이브 오븐에서 중합한 경우(402±22

g/cm) 순이었다. S-2260에서는 primer를 1시간동안 작용시키고 건조열 오븐에서 중합한 경우(581±260 g/cm)가 가장 높은 T-peel 결합강도를 나타내었으며, 그 다음으로 2시간 작용시키고 상온에서 중합한 경우(406±101 g/cm), 4시간 작용시키고 상온에서 중합한 경우(304±111 g/cm) 순이었으며 A-304에서는 primer를 2시간동안 작용시키고 건조열 오븐에서 중합한 경우(1003±213 g/cm)가 가장 높은 T-peel 결합강도를 나타내었으며, 그 다음으로 1시간 작용시키고 건조열 오븐에서 중합한 경우(705±232 g/cm) 순이었다.

각 primer 및 중합방법에 따라 작용시간이 T-peel 결합강도에 미치는 효과에 대한 One way ANOVA test 결과에서, 모든 경우에 작용시간간에 통계학적으로 유의성있는 차이를 보였다(p<0.05). Multiple range test(Tukey's HSD test) 결과에서, primer 1205는 건조열 및 마이크로웨이브 오븐에서 중합한 경우는 1시간이나 2시간으로 중합한 경우가 다른 작용

Table 3. Result of ANOVA test for T-peel strength

Source of Variation	Sum of Squares	DF	Mean Square	F	Sig. of F
Main Effects	4600	8	575	46193	000
POLY	648	2	324	26038	000
TIME	1797	2	899	72190	000
PRIMER	2155	4	539	43273	000
2-Way Interactions	2831	20	142	11372	000
POLY PRIMER	471	4	118	9450	000
POLY TIME	1880	8	235	18881	000
PRIMER TIME	480	8	060	4825	000
3-Way Interactions					
POLY PRIMER TIME	2175	16	136	10920	000
Explained	9606	44	218	17539	000
Residual	2241	180	012		
Total	11847	224	053		

Table 4. Adhesive strength based on polymerization method-primer reaction time in primer 1205

Polymerization method-Primer reaction time	T-peel strength(g/cm)*
DO-1	924 ± 128
DO-2	760 ± 103
MW-1	549 ± 149
RT-6	487 ± 147
MW-2	402 ± 22
DO-8	343 ± 101
MW-6	321 ± 105
RT-8	312 ± 93
MW-8	281 ± 60
DO-6	249 ± 85
RT-4	240 ± 78
MW-4	200 ± 48
RT-1	198 ± 86
RT-2	188 ± 42
DO-4	140 ± 29

* Mean ± Standard Deviation of the mean(N=6)

Table 5. Adhesive strength based on polymerization method-primer reaction time in primer S-2260

Polymerization method-Primer reaction time	T-peel strength(g/cm)*
DO-1	581 ± 260
RT-2	406 ± 101
RT-8	346 ± 93
RT-4	304 ± 111
MW-2	264 ± 55
DO-6	235 ± 76
RT-1	202 ± 60
MW-6	198 ± 86
MW-8	191 ± 50
DO-8	164 ± 130
MW-1	151 ± 17
MW-4	114 ± 37
RT-6	92 ± 22
DO-2	81 ± 20
DO-4	72 ± 98

* Mean ± Standard Deviation of the mean(N=6)

Table 6. Adhesive strength based on polymerization method-primer reaction time in primer A-304

Polymerization method-Primer reaction time	T-peel strength(g/cm)*
DO-2	1003± 213
DO-1	750± 232
MW-1	593± 187
RT-6	527± 99
RT-2	501± 139
RT-1	445± 74
DO-6	391± 98
MW-8	371± 79
DO-8	347± 78
MW-2	346± 94
MW-4	338± 126
DO-4	334± 232
RT-8	282± 46
RT-4	265± 62
MW-6	169± 68

* Mean± Standard Deviation of the mean(N=6)

Table 7. T-peel strength by methods of primer reaction time and primer in room temperature group(unit : g/cm)

Polymerization methods	Type of primer and T-peel strength(g/cm)*					
	Primer reaction time	1205 (M± SD)	Primer reaction time	S-2260 (M± SD)	Primer reaction time	A-304 (M± SD)
Room temperature	6	487±147	2	406±101	6	527± 99
	8	312± 93		8		346± 93
	4	240± 78	4		304±111	1
	1	198± 86		1	202± 60	
	2	188± 42	6		92± 22	4

* Standard deviation of the mean (N=6)

** Values within brackets do not differ significantly(p>0.05) as determined by the Multiple range tests

시간 보다 높은 T-peel 결합강도를 보였으나 실온범으로 중합한 경우는 그 반대였다(p<0.05). S-2260과 A-304도 1시간이나 2시간 작용시킨 경우가 대부분 높은 T-peel 결합강도를

보였다(Table 7, 8, and 9).

각 중합방법 및 작용시간에 따라 primer가 T-peel 결합강도에 미치는 효과에 대한 One way ANOVA 검정 결과에서, primer를 4시간,

Table 8. T-peel strength by methods of primer reaction time and primer in dry-heat oven group(unit : g/cm)

Polymerization methods	Type of primer and T-peel strength(g/cm)*					
	Primer reaction time	1205 (M±SD)	Primer reaction time	S-2260 (M±SD)	Primer reaction time	A-304 (M±SD)
Dry-heat oven	1	924±128	1	581±260	2	1003±213
	2	760±103	6	235± 76**	1	705±232
	8	343±101	8	164±130	6	391± 98***
	6	249± 85**	2	81± 20	8	347± 78
	4	140± 29	4	72± 98	4	334±232

* Standard deviation of the mean (N=6)

** Values within brackets do not differ significantly(p>0.05) as determined by the Multiple range tests

Table 9. T-peel strength by methods of primer reaction time and primer in microwave oven group(unit : g/cm)

Polymerization methods	Type of primer and T-peel strength(g/cm)*					
	Primer reaction time	1205 (M±SD)	Primer reaction time	S-2260 (M±SD)	Primer reaction time	A-304 (M±SD)
Microwave oven	1	549±149	2	264±55	1	593±187
	2	402± 22	6	198±86**	8	371± 79**
	6	321±105**	8	191±50	2	346± 94
	8	281± 60	1	151±17	4	338±126
	4	200± 48	4	114±37	6	169± 68

* Standard deviation of the mean (N=6)

** Values within brackets do not differ significantly(p>0.05) as determined by the Multiple range tests

8시간 작용시키고 실온에서 중합한 경우와 1시간 작용시키고 건조열 오븐에서 중합한 경우를 제외하고는 모든 경우에서 primer간에 통계학적으로 상당한 유의한 차이를 보였다(p<0.05). Multiple range test(Tukey's HSD

test) 결과 통계학적 유의성이 없는 경우와 primer를 2시간, 6시간 중합하고 마이크로웨이브 오븐법으로 중합한 경우를 제외한 모든 경우에서 A-304가 가장 높은 T-peel 결합강도를 보였다(p<0.05)(Table 10).

Table 10. Results of One way ANOVA tests and Multiple range tests for μ tests
T- peel strength according to primer

Polymerization method	Reaction time	Ranking	F prob.
RT	1	A-304>S-2260, 1205	.0002
	2	A-304, S-2260>1205	.0012
	4	S-2260, A-304, 1205	.5140*
	6	A-304, 1205>S-2260	.0000
	8	S-2260, 1205, A-304	.4714*
DO	1	1205, A-304, S-2260	.0729*
	2	A-304>1205>S-2260	.0000
	4	A-304, 1205>1205, S-2260	.0392
	6	A-304, 1205>1205, S-2260	.0273
	8	A-304, 1205>S-2260	.0269
MW	1	A-304, 1205>S-2260	.0005
	2	1205, A-304>A-304, S-2260	.0167
	4	A-304>1205, S-2260	.0030
	6	1205, S-2260>S-2260, A-304	.0407
	8	A-304, 1205>1205, S-2260	.0030

* : Denotes groups with no significant difference at the 0.05 level
, : Denotes no significant difference between each group

Table 11. Results of One way ANOVA tests and Multiple range tests for
T- peel strength according to polymerization method

Primer	Reaction time	Ranking	F prob.
1205	1	DO>MW>RT	.0000
	2	DO>MW>RT	.0000
	4	RT, MW>MW, DO	.0445
	6	RT, MW>MW, DO	.0192
	8	DO, RT, MW	.5439*
S-2260	1	DO>RT, MW	.0016
	2	RT>MW>DO	.0000
	4	RT>MW, DO	.0030
	6	DO, MW>MW, RT	.0156
	8	RT, MW>MW, DO	.0237

A-304	1	DO, MW, RT	.1075*
	2	DO>RT, MW	.0001
	4	MW, DO, RT	.7175*
	6	RT, DO>MW	.0001
	8	MW, DO, RT	.1521*

* : Denotes groups with no significant difference at the 0.05 level

, : Denotes no significant difference between each group

각 primer 및 작용시간에 따라 중합방법이 T-peel 결합강도에 미치는 효과에 대한 One way ANOVA test 결과에서, primer 1205를 8 시간 작용시킨 경우와 A-304를 1시간, 4시간, 8시간 작용시킨 경우를 제외하고는 모든 경우에서 중합방법간에 통계학적으로 유의성있는 차이를 보였으나 Multiple range test(Tukey's HSD test) 결과에서 특정 중합방법이 높은 T-peel 결합강도를 보이지는 않았다(Table 11).

IV. 총괄 및 고안

여러가지 원인에 의해 결손된 악안면 조직 부위를 재건하기 위한 많은 노력들이 있어왔다. 악안면 보철은 큰 결손부가 존재하거나 위험성이 많은 환자에서 외과적 수복 방법이 어려운 경우에 적절하다. 외과적 방법에 비해 악안면 보철물을 이용한 결손부위의 재건은 비교적 빠른 시간내에 결손부를 대체할 수 있고 별로 복잡하지 않지만 예술적 기술과 적절한 수준의 물리적 성질을 갖춘 특수 재료를 필요로 한다¹⁾.

악안면 보철에 사용되는 재료의 이상적 성질에 대해 Rahn과 Boucher³⁰⁾, Sweeney등³⁴⁾, Moore등²⁷⁾, Beumer와 Zlotolow⁶⁾, Lewis와 Castleberry²⁴⁾ 외에도 많은 학자들이 언급하였다. 그 내용을 요약해 보면 크게 세 가지로 나누어 볼 수 있다. 첫째는, 중합과 관련된 성질로서 작업시간 동안의 낮은 점도, 낮은 중합온도, 중합 전, 후의 색상조절 가능여부, 그리고 조작의 용이성 등이며, 둘째는 기계적 성질로서 높은 인장강도, 높은 신장율, 높은 찢김강도, 적절한 경도, 체적의 안정성, 적절한 표면장력, 화학물이나 자외선에 대한 저항성

등이다. 환자와 관련된 성질로서 비알레르기성, 비독성, 비발암성, 위생성, 가벼운 비중, 생체조직으로의 부착성, 열전도성 그리고 경제성등의 성질을 가지고 있어야 한다고 보고되고 있다.

1960년대 이후, 악안면 보철재료로는 폴리실록산(polysiloxane), 폴리비닐클로라이드, 폴리우레탄, 폴리메틸메타아크릴레이트, 실리콘 등이 주류를 이루고 있으며, 이중 실리콘은 여러 장점들로 인해 최근 가장 선호되고 있다^{5,31, 40)}. 이들 중 본 실험에 사용한 Silastic® MDX4-4210^{24, 27, 40, 43)}은 그 사용이 가장 보편화된 실리콘 중의 하나이며, 중합하기에 편리한 RTV실리콘으로서 중합 후에도 우수한 물리적 성질을 가지며 내면 색상화가 가능하다. 그러나 실온에서의 중합시간이 상당히 길고 변연강도가 부족하며 환경 및 시간경과에 따른 변색 등의 단점들을 가지고 있는 것으로 보고되고 있다^{11, 21, 41, 42, 44)}. 실험에 사용한 또하나의 RTV인 Silastic® Mdicall Adhesive Type A(SMA Type A : dimethyl siloxane-triacetoxy terminated silane)는 Yu등⁴³⁾과 Udagama³⁹⁾가 소개한 재료로서 다른 종류의 실리콘이나 합성물, 금속 등의 접착용으로 쓰이는 실리콘으로 상온에서 수분 존재하에 중합되며 비교적 빠른 시간내에 제작이 가능하나, 중합시 6.4%의 초산(acetic acid)이 유리되는 단점이 있다.

본 실험에서는 위의 두 재료인 Silastic® MDX 4-4210과 SMA Type A를 40/60의 비율로 혼합하여 사용하였는데, 두 가지 재료를 혼합하는 목적은 Silastic® MDX4-4210에 SMA Type A를 첨가하여 Silastic® MIDX4-4210의 기본조성에 변화를 줌으로써 좀 더 유연한 재료로 만들어

주어, 표정을 짓는다든가 움직일 때 변연의 적합성을 향상시켜¹³⁾ 보다 자연스러움을 표현해 주기 위함이다.

물리적 성질을 향상시키기 위해 재료를 혼합해 사용하는 개념은 1976년 Firtell등¹⁴⁾에 의해 소개되었으며 이렇게 함으로써 보철물의 무게를 감소시킬 수 있다고 보고하였다. 1978년 Gonzales등¹⁶⁾과 Goldberg등¹⁵⁾은 폴리우레탄에 혼합하는 다른 성분의 양을 조절함으로써 물리적 성질을 조절할 수 있다고 보고하였으며 Kouyoumdjian등²²⁾은 MDX4-4210에 360 medical fluid를 첨가하여 첨가 전, 후의 기계적 성질을 평가하였다. 1987년 Farah등¹³⁾은 MDX4-4210 기저물질(base material)에 의료용 접착제 A형(medical adhesive Type A)을 첨가하여 보다 유연한 재료를 만드는 시도를 하였으며, Udagama³⁸⁾는 더 나아가 시일 경과에 따른 재료의 물리적 성질을 비교하였으며, 인장강도와 경도는 MDX4-4210이 증가함에 따라 감소하고 최대 신장율은 40/60과 50/50일 때 100% SMA Type A의 거의 두배가 된다고 보고 하였다. 따라서 본 실험에서는 최대 신장율을 보이는 40/60의 혼합비를 사용하였는데, 이는 신장율을 증가시켜 악안면 보철물이 보다 자연스러움을 표현할 수 있게 하기 위함이다. 그러나 이러한 혼합비를 사용하는 경우 인장강도, 찢김강도 등이 감소하게 되는 단점이 있다.

실리콘의 약한 찢김강도를 보완하기 위한 일환으로 1987년 Udagama³⁹⁾는 다양한 라이닝 재료에 실리콘을 부착해 실험하였는데, 그 결과 많은 재료들 중 폴리우레탄 판에 실리콘을 접착하여 사용할 것을 제안한 바 있다. 폴리우레탄이 선택된 이유는 이 재료가 투명하고 높은 찢김강도를 가지고 있으며, 성형하기 쉽고 수기 피부 접착제(water base skin adhesive)에 친화성을 갖기 때문이었다.

성분이 다른 실리콘과 폴리우레탄의 결합을 증가시키기 위해 많은 primer들이 사용되어 오고 있으며, 이들이 결합강도를 증가시킨다고 보고되고 있으나 이들사이의 결합실패는 여전히 임상문제로 남아있다^{33,36)}. 본 실험에서도 세가지 primer 1205, S-2260, A-304를 이용하여 실

리콘과 폴리우레탄을 접착시킨 후 T-peel 결합강도를 관찰한 결과 대부분의 경우에서 A-304로 처리한 것이 다른 두 primer로 처리한 것보다 높은 결합강도를 보였다. 이러한 결합강도의 차이는 primer 속의 사이레인 결합제(silane coupling agents)의 활성 유기 기능군이 다르기 때문으로 사료된다.

Primer의 작용시간과 중합방법에 따른 중합 온도 등도 성공적인 접착에 매우 중요한 요소이다. 만약 primer층이 너무 많이 중합된다면, 이들은 실리콘과 친화성이 없어지게 될 것이고, 만약 덜 중합된다면, primer가 실리콘에 스며들게 되어 표면에서 복합적인 결합반응(cross-linking)할 가능성을 잃게 될 것이다^{29,35)}. 본 실험에서는 작용시간을 1, 2, 4, 6, 8 시간 등 5개로 하고 3가지 중합방법으로 중합한 결과, 작용시간에서는 각각의 primer를 1시간 혹은 2시간 작용시킨 경우가 대부분 높은 T-peel 결합강도를 보였으나, 각각의 primer마다 어느 한 작용시간이 중합방법에 관계없이 결합강도를 증가시키지는 않았다. 중합방법도 어느 한 중합방법이 작용시간에 관계없이 높은 T-peel 결합강도를 보이지 않았다. 건조열 오븐이나 마이크로웨이브 오븐 중합방법은 악안면 보철물이나 의치를 제작할 때 중합시간을 단축시킬 수 있다고 보고되고 있다^{2, 12, 29, 23, 32)}. 본 실험에서는 이러한 중합방법들이 결합강도에 미치는 영향을 관찰한 결과, 이들이 중합시간은 단축하였으나 결합강도는 증가시키지 못했다.

이상의 결과로 미루어 보아 각각의 primer마다 최대 접착강도를 얻기 위해서는 각기 다른 primer 작용시간과 중합방법으로 실리콘을 폴리우레탄 판에 접착하는 것이 추천된다. 즉 본 실험에서는 primer 1205과 S-2260은 1시간 작용시키고 건조열 오븐법으로 중합하고, A-304는 2시간 작용시키고 건조열 오븐법으로 중합하는 것이 각 primer에서 가장 높은 T-peel 결합강도를 보였다. Table 3은 각 primer의 작용시간과 중합방법을 선택하는데 있어 하나의 지침이 될 수 있을 것이다.

심미적이며 환경변화에 잘 견딜 수 있는 보철물을 제작하기 위해서는 primer를 포함한

보다 적절한 재료들이 개발되어야 할 것이다. 또한, 본 연구를 토대로 중합방법인 단기간 혹은 장기간의 접착강도에 미치는 영향뿐만 아니라 환경변화에 의한 접착강도의 변화 등 많은 분야에 대하여 앞으로 다양한 연구가 있어야 하겠다.

V. 결 론

악성종양, 선천적 결손, 외상 등으로 인한 악안면 결손은 보철적인 방법을 통해 기능적, 심미적으로 회복될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 흔히 사용되는 primer 1205, S-2260, A-304를 폴리우레탄 판에 1, 2, 4, 6, 8시간 작용시켜 실리콘과 접착시킨 후, 이를 각각 실온법, 건조열 오븐법, 마이크로 웨이브 오븐법으로 중합한 다음 미국재료협회 규격에 따라 평균 T-peel 결합강도를 측정하여 이에 따른 접착강도의 변화를 비교하였다.

이 측정값들의 통계적인 비교분석은 ANOVA와 Tukey's HSD 다중비교 검정을 사용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Primer의 종류 및 작용시간, 그리고 중합방법이 서로 상호작용을 하면서 실리콘과 폴리우레탄 판의 접착강도에 통계적으로 유의있는($p < 0.001$) 영향을 미치고 있다.
2. 중합방법 및 작용시간에 따른 primer의 효과에서는, primer를 2, 6시간 작용시킨 후 마이크로웨이브 오븐에서 중합한 경우를 제외하고, A-304가 통계적 유의성을 갖는 높은 T-peel 결합강도를 보였다($p < 0.05$).
3. T-peel 결합강도에서, primer 종류 및 작용시간에 따른 중합방법은 통계적인 차이가 없었다.
4. Primer의 종류 및 중합방법에 따른 작용시간은 통계적 유의성을 보였으며($p < 0.05$) 대부분의 경우에서 primer를 1시간이나 2시간 작용시킨 경우가 높은 T-peel 결합강도를 나타내었다.

참고문헌

1. Abdelnabi, MM, Moore, DJ : In Vitro comparison study of MDX4-4210 and poly-methyl siloxane silicone materials. J Prosthet Dent. 51 : 523, 1984.
2. Alkhatib, MB, Goodacre, CJ, Swartz, ML, Munoz-Viveros, CA, Andres, CJ : Comparison of microwave-polymerized denture base resins. Int J Prosthodont. 3 : 249, 1990.
3. American Society for Testing and Materials : Standard test method for adhesion-in-peel of elastomeric joint sealants. 47 : 102, 1986.
4. Barnhart, GW : A new material and technique in the art of somato-prosthesis. J Dent Res. 30 : 836, 1960.
5. Bartlett, SO, Dineda, LY, Moore, DJ : Surface characterization of the silicone rubber prosthesis. J Prosthet Dent. 25 : 69, 1971.
6. Beumer, Z, Zlotlow, I : Restoration of facial defects. 1st ed., ST Louis, C.V. Mosby, 311, 1979.
7. Chalian, VA : Evaluation and comparison of physical properties of materials used in maxillofacial prosthetics. Master's Thesis, Indiana University, 1976.
8. Clarke, CD : Facial and body prosthesis. St. Louis : C.V. Mosby, 13, 1945.
9. Contor, R, Webber, RL, Stroud, L, Ryge, G : Methods for evaluating prosthetic facial materials. J Prosthet Dent. 23 : 324, 1969.
10. Craig, RE, Koran, A, Yu, R : Elastomers for maxillofacial applications. Biomaterials 1 : 112, 1980.
11. Craig, RG, Koran, A, Yu, R, Spencer, J : Color stability of elastomer in maxillofacial appliances. J Dent Res. 57 : 866, 1978.
12. DeClerck, JP : Microwave polymerization of acrylic resins used in dental prostheses.

- J Prosthet Dent. 57 : 650, 1987.
13. Farah, JW, Robinson, JC, Koran, A : Properties of a modified cross-linked silicone for maxillofacial prostheses. J Oral Rehabil. 14 : 599, 1987.
 14. Firtell, DN, Bartlett, SO : Maxillofacial prostheses : Reproducible fabrication. J Prosthet Dent. 22 : 247m 1969.
 15. Goldberg, AJ, Craig, RG, Filisko, FE : Polyurethane elastomers in maxillofacial prosthetic materials. J Prosthet Dent. 57 : 563, 1978.
 16. Gonzalez, JB, Chao, EYS, An, Kai-Nan. : Physical and mechanical behavior of polyurethane elastomer formulations used for facial prostheses. J Prosthet Dent. 39 : 307, 1978.
 17. Jones, RE : An Evaluation of the physical properties of some facial prosthetic materials. Master's Thesis, Indiana University, 1978.
 18. Khan, Z : Conference report : Materials research in maxillofacial prosthetics. J Dent Res. 1541, 1992.
 19. Kmura, H, Teraoka, F, Ohnishi, H : Applications of microwave for dental techniques. J Osaka Univ Dent Sch 23 : 43, 1984.
 20. Koran, A, Craig, RG : Dynamic mechanical properties of maxillofacial materials. J Dent Res. 54 : 216, 1975.
 21. Koran, A, Yu, R, Powers, JM, Craig, RG : Color stability of a pigmented elastomer for maxillofacial appliances. J Dent Res. 58 : 1455, 1979.
 22. Kouyoumdjian, J, Chalian, VA, Moore, BK : A comparison of the physical properties of a room temperature vulcanizing silicone modified and unmodified. J Prosthet Dent. 53 : 388, 1985.
 23. Levin, B, Sanders, J, Reitz, P : The use of microwave energy for processing acrylic resins. J Prosthet Dent. 61 : 381, 1989.
 24. Lewis, DH, Castleberry, DJ : An assessment of recent advances in external maxillofacial materials. J Prosthet Dent. 43 : 426, 1980.
 25. Lewis, DH, Cowper, DR, Castleberry, DJ, Fischer, TE : New and improved elastomers for extraoral maxillofacial prostheses. J Dent Res. 56 : 174, 1977.
 26. Lontz, JF, Schweiger, JW, Burger, AW : Modifying stress strain profiles of polysiloxane elastomers for improved maxillofacial conformity. J Dent Res. 53, 1974.
 27. Moore, DJ, Glaser, ZR, Tabacco, MJ : Evaluation of polymeric materials for maxillofacial prosthetics. J Prosthet Dent. 38 : 319, 1977.
 28. Phillips, RW : Science of Dental Materials, 7th ed, Philadelphia : W.B. Saunders Co., 239, 1973.
 29. Russel, W, Stephen, MC, James, L : Adhesion of Silicone to Polyurethane in Maxillofacial Prostheses. Int J Prosthodont 7 : 43, 1994.
 30. Rhan, AO, Boucher, LJ : Maxillofacial prosthodontics. Philadelphia : WB Saunders Co., 18 : 30, 1970.
 31. Schaaf, NG : Materials in maxillofacial prosthetics. Dent Clin North Am. 19 : 347, 1975.
 32. Seals, RR, Cortes, AL, Funk, JJ, Parel, SM : Microwave techniques for fabrication of provisional facial prostheses. J Prosthet Dent 62y327, 1989.
 33. Siner, MT, Mitchell, DL, Pellen, GB : Effect of primers on the bond strength of silicone elastomers and polyurethane. J Prosthet Dent. 60 : 602, 1988.
 34. Sweeney, WT, Fisher, TE, Castleberry, DJ : Evaluation of improved maxillofacial prosthetic material. J Prosthet Dent 27 : 297, 1972.
 35. Takamata, T, Setcos, JC, Phillips, RW :

- Adaptation of acrylic resin dentures as influenced by the activation mode of polymerization. *J Am Dent Assoc.* 119 : 271, 1989.
36. Turner, GE, Fischer, TE : Intrinsic color of isophorone polyurethane for maxillofacial prosthetics. Part I : Physical properties. *J Prosthet Dent.* 51 : 519, 1984.
 - 37 Tylman, SD : Resilient and elastic resin : Technique for their use in maxillofacial prostheses. *Dent Dig,* 50 : 260, 1944.
 38. Udagama, A : Urethane-lined silicone facial prostheses. 58 : 351, 1987.
 39. Udagama, A : Use of medical-grade methyl triacetoxysilane cross-linked silicone for facial prostheses. *J Prosthet Dent.* 48 : 86, 1982.
 40. Vergo, TJ, Andrew, R : Maxillofacial prosthetics : Rehabilitation of head and neck cancer patient(III). *Quint Dent Technol* 8 : 427, 1984
 41. Wiens, JP : A comparative study of selected elastomers subjected to accelerated and outdoor weathering. Thesis. University of Minnesota. 1, 19809.
 42. Yu, R, Koran, A : Dimensional stability of elastomers for maxillofacial appliances. *J Dent Res.* 58 : 1908, 1979.
 43. Yu, R, Koran, A, Craig, RG : Physical properties of a pigmented silicone maxillofacial material as a function of accelerated aging. *J Dent Res.* 59 : 1141, 19890.
 44. Yu, R, Koran, A, Craig, RG : Physical properties of maxillofacial elastomers under conditions of accelerated aging. *J Dent Res.* 59 : 1041, 1980.

논문 사진부도 설명

Figure 2. Negative gypsum mold in a denture flask

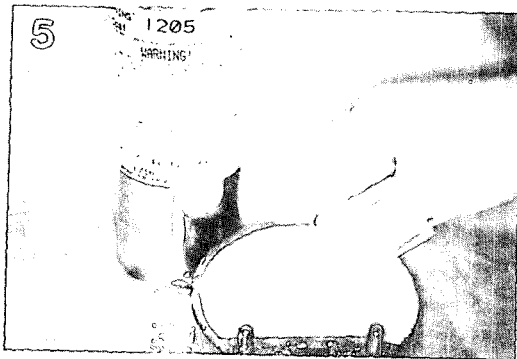
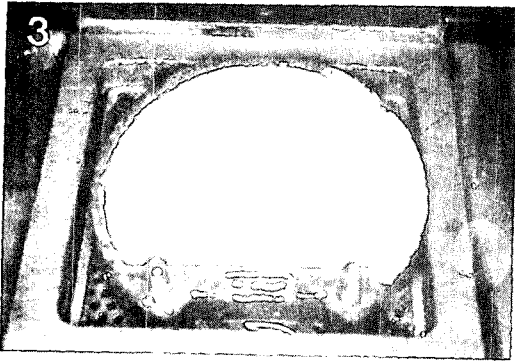
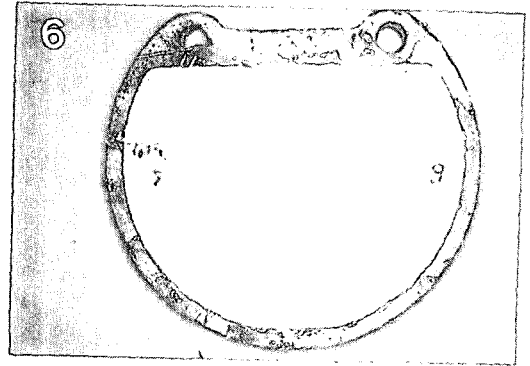
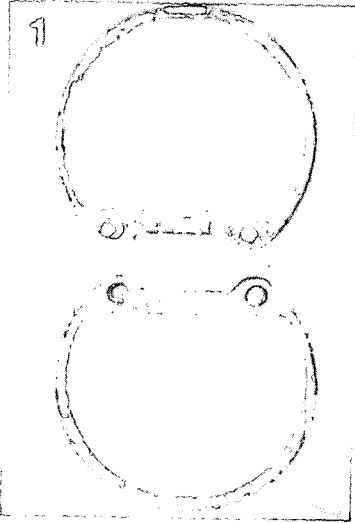
Figure 3. Polyurethane sheet adapted to the flat surface of upper denture flask

Figure 5. Application of primer

Figure 6. Silicone elastomer mixture placed in the gypsum mold

Figure 7. Measurement of T-peel bonding strength

논문 사진부도



Abstract

A STUDY ON THE ADHESIVENESS OF SILICONE AND POLYURETHANE SHEET IN MAXILLOFACIAL PROSTHESES

Sang-Jun Cho, Jn-Hwan Lim, In-Ho Cho

Dept. of Prosthodontics, College of Dentistry, Dankook University

The material of choice for functional and esthetic reconstruction of maxillofacial defects is silicone. Silicone has appropriate physical properties for maxillofacial prosthesis but it has weak edge strength. Therefore, a proper combination of silicone and polyurethane sheet is recommended to improve this weakness. Various primers are also used to enhance the adhesive strength between silicone and polyurethane sheet. The purpose of this study was to determine the adhesive strength of silicone and polyurethane sheet. Silicone elastomer mixture was made by admixing MDX4-4210 elastomer (40%) and Silastic Medical Adhesive Type A(60%).

This silicone elastomer mixture was attached to polyurethane sheet, using one of three different primers(1205, S-2260, or A-304), treated for 1, 2, 4, 6, and 8 hours. These were then polymerized in room temperature, dry-heat oven or microwave oven. Six specimens per each group, a total of 270 specimens were prepared for final test. The differences of T-peel bonding strengths were then determined by a test. The differences of T-peel bonding strengths were then determined by a test method that was recommended by American Society for Testing and Materials C794-80. The results were statistically analyzed using the ANOVA and Mutiple Range Tests(Tukey' HSD).

The results were as follow.

1. Type of primer, primer reaction time, and methods of polymerization showed significant correlation on the T-peel bonding strengths in adhesiveness between silicone and polyurethane sheet.
2. A-304 primer showed statistically higher in T-peel bonding strength than otehr type of primers except for the polymerization in microwave oven with reaction times of 2, 6 hours($p < 0.05$).
3. No significant differences in T-peel bonding strength were observed among the polymerization methods.
4. The effect of reaction time by the primer type and polymerization method showed statistically significant differences in bonding strength among different reaction times. And in most cases, reaction time of 1 or 2 hours showed higher T-peel bonding strength.