地盤補强用 폴리우레탄의 物理, 化學的 特性

Physical & Chemical Properties of Polyurethane Materials for Subsurface Improvement

김 진 일* , 천 병 식**, 이류 동 성***

1. 서 론

지하철, 전력구, 통신구 등 지하건설공사의 급증에 따라 지반굴착공사시 지반강화 또는 차수 등의 목적을 위하여 약액주입공법이 널리 시행되고 있다. 현재 약액주입공법에 사용되는 주입약액은 대별해서 물유리계 약액과 고분자계 약액으로 분류되며 또한 이에 사용되는 약액을 구성하는 주제 및 경화제의 종별 및 주입방식 등에 따라 또다시 여러가지 공법으로 세분된다. 공법의 채택은 약액주입대상 토질 및 시공조건, 경제성 등 제반시공조건에 따라 선택되는 것이나 현재 우리나라에서 통상적으로 가장 많이 시행되고 있는 공법은 물유리계 약액주입공법들이다. 그러나 이 공법에 사용되는 물유리계 약액은 일반적으로 약액주입에 의해 불용성 겔화 물질이 생성됨과 더불어 부생성물로서 가성소다, 망초 등의 가용성물질이 동시에 생성되기 때문에 이들이 지중의 자유수, 흡착수 등에 의해 용탈되어 시간경과에 따라 지수성 및 강도의 저하가 일어나는 등 내구성이 약한 결점을 지니고 있다[1,2]. 따라서 이를 보완하기 위한 첨단공법으로 중성실리카졸공법, 탄산가스-물유리공법 등이 개발된 것으로 알려져 있으나[3,4] 이 공법들은 현재 국내에서는 거의 시행되고 있지 않으며 특히 이 공법들에서도 문제점인 용탈현상은 단지 감소될 뿐이지 완전한 개선이 이루지는 것으로 보기는 어렵다.

한편, 고분자계 약액은 내구성 저하등의 문제점이 비교적 적으며 동시에 시공이 간편한 장점을 지니고 있다. 고분자계 약액주입공법에 사용되는 약액으로는 아크릴아미드계, 요소계 및 우레탄계 등이 있으나 이중 아크릴아미드계 및 요소계는 공해문제 등으로 인하여 현재는 거의 시행되고 있지 않으며 단지 폴리우레탄계 약액만이 이용되고 있는 실정인데 지반보강용 주입재료로서 폴리우레탄을 사용할 경우에는 시공이 간편하고 경화속도가 빨라 공기단축효과가 클 뿐 아니라 기계적 물성이 우수하고 내구성이 탁월한 장점을 지니고 이 공법이 최근 들어 특히 주목을 받고있다[5,6]. 폴리우레탄이란 다가알콜 계통의 물질과 디이소시

* 한양대학교 공과대학 명예교수

** 한양대학교 토목공학과 교수

*** (주) 신한캐미텍 대표

아네이트계 물질의 반응에 의해 생성되는 일종의 축합형 합성고분자를 일컫는 용어로 전술한 2종류의 물질을 혼합하면 이들간에 우레탄화반응, 요소화 반응, 발포반응 등 화학반응이 일어나 불융, 불용성의 3차원 그물구조의 탄성 합성고분자인 폴리우레탄이 생성된다[7]. 따라서 이를 지반보강 주입재로 활용하는 경우에는 전술한 폴리우레탄 생성원료인 다가알코올계 물질과 디이소시아네이트계 물질의 두액을 혼합하여 지중으로 주입하면 이 혼합액체가 암반이나 토양중으로 맥상주입 또는 침투주입된 채 일정시간 경과한 후 반응, 발포하여 폴리우레탄이 지중에서 생성되어 이것이 연약지반을 보강하게 되는 것이다. 한편, 안전한 지반보강을 위해서 두액의 반응에 의해 지반중에 고결되는 폴리우레탄 고결체는 기본적 특성으로 굴곡강도, 압축강도, 전단인장강도등 기계적 강도에 있어서 우수한 특성치를 나타내야 하며 우수한 지수성을 위해 낮은 투수계수를 지녀야 함과 동시에 효과적인 시공을 위해서는 주입대상 지반의 토질 등 현장환경 및 조건에 따라 폴리우레탄 고결체 생성과정에 수반되는 라이즈타임 및 겔타임, 발포배율, 토양중으로의 침투력 등의 시공과 관련된 제특성도 자유로이 조절될 수 있어야만 효과적인 시공이 가능하다. 따라서 이러한 점들을 고려하여 본 연구에서는 폴리우레탄 약액주입공법의 효과적인 시공에 필수적 요소인 약액특성의 조절방법을 모색키 위해 폴리우레탄 원료약액의 화학적 조성에 따른 생성 폴리우레탄 고결체의 기계적 특성등 제반특성과의 관계 및 약액의 시공특성과 관련된 제반 물리 및 화학적 거동특성과의 상관관계를 검토하였다.

2. 실 험

2-1. 약액의 제조

① 주제

다가알코올이 주성분인 주제는 폴리에테르폴리올계 물질 , 저급글리콜계 물질, 사슬연장제, 실리콘계 정포제, 염기성촉매, 저점성 3급아미드계 화합물, 수분 등의 성분을 적절한 비율로 혼합, 반응시켜 제조하였다 .

② 경화제

경화제는 디이소시아네이트계 물질인 MDI 프레폴리머, MDI 이량체, polymeric MDI 및 저점성 3급아미드계 화합물을 적절한 비율로 혼합, 반응시켜 제조하였다.

2-2. 발포고결체 생성방법

2-1 에서와 같이 제조된 주제와 경화제 약액을 용기에 무게비로 1(주제) : 2.5 - 3.2(경화제)의 비율로 계량하여 함께 넣은 후 이를 1000 rpm 속도의 교반기로 10초간 혼합, 교반

한 후 방치하여 발포, 고결반응을 유도하였다.

2-3. 측정기기 및 측정방법

① 구조확인

주제, 경화제 및 이로 부터 생성되는 폴리우레탄의 구조확인을 위하여 실시한 적외선분광분석은 Nicolet 사의 5-DX FT-IR을 이용하여 측정하였다.

② 점도의 측정

주제, 경화제 및 이들 혼합액의 점도는 Brookefield 모델 LVT 저점도형 점도계를 이용하여 측정하였다.

③ 발포배율의 측정

주제, 경화제 두액의 혼합에 의한 폴리우레탄 생성시 발포배율의 측정은 잘 혼합한 일정양의 주제 +경화제의 혼합(혼합비 1(주제):2.5(경화제))액을 메스실린더 내에 투입하여 발포, 고결시킨 후 생성된 폴리우레탄 고결체의 부피를 측정하여 이를 반응전의 처음부피로 나누어 구하였다.

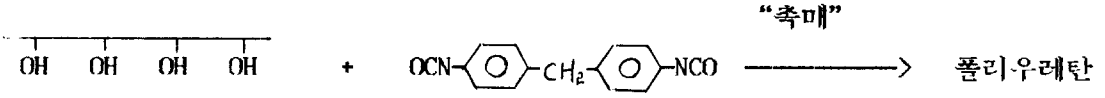
④ 기계적 물성 측정

발포고결된 폴리우레탄의 기계적 물성인 일축압축강도 및 굴곡강도의 측정은 한국공업규격 KS M 3809-92 테스트법에 의거, 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 폴리우레탄 생성반응의 특징

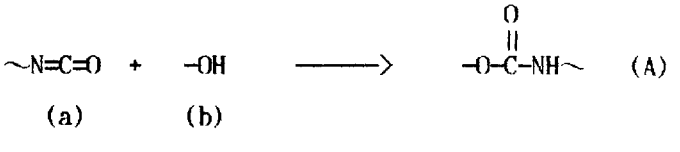
폴리우레탄 생성원료 약액의 주제(다가알코올이 주성분)와 경화제(메틸렌 디페닐 디이소시아네이트가 주성분)의 화학구조 및 이들이 폴리우레탄으로 변화되는 반응식은 다음과 같이 표시될 수 있다.



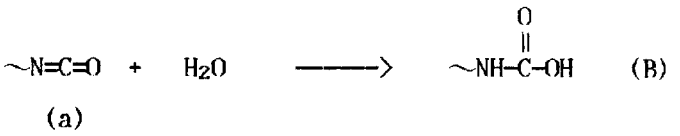
주제(다가알코올) 경화제 (MDI)

따라서 이때 주성분으로 사용되는 다가알코올의 종류, 디이소시아네이트의 종류에 의해 생성 폴리우레탄의 기본적 성능이 결정되는 것이여서 이들의 선택이 매우 중요하다. 그러나 폴리우레탄 생성반응에서 실제로 일어나는 부분적인 반응들은 다양하여 이들이 물성에 큰 인자로 작용하여 이의 영향도 무시할 수 없는 바 폴리우레탄 생성에 수반되는 실제 부분적 반응들을 구체적으로 나타내면 다음과 같다.

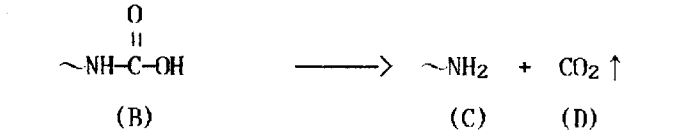
(1) URETHANE BOND FORMATION



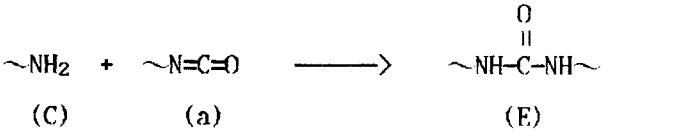
(2) HYDRATION



(3) FOAMING(DECARBOXYLATION)



(4) UREA BOND FORMATION



(1)의 URETHANE BOND FORMATION 반응은 주제의 주성분인 다가알코올 (a)과 경화제의 주성분인 디이소시아네이트(b) 간에 일어나는 주반응으로서 이 반응을 통해 우레탄 결합 (A)이 생성됨과 동시에 가교 망상형의 중합체(고분자)즉 폴리우레탄 고결체로 변화되는 것이다. 우레탄결합을 갖는 고분자들은 일반적으로 기계적 강도 및 열적 특성이 매우 우수하다.

(2)의 HYDRATION 반응, 즉 가수화반응은 체적증가를 야기하는 발포반응을 유발키 위해 발포제로서 첨가하는 소정양의 물과 디이소시아네이트간에 반응하여 카르복시화물 (B)이 되는데 이는 열역학적으로 매우 불안정하여 즉시 (3)의 탈탄산화반응을 통해 아민(C) 과 탄산가스(D)로 비가역적으로 분해되며 이때 발생되는 탄산가스는 폴리우레탄의 고결체적을 증가시키는 발포가스로 작용하여 폴리우레탄의 발포배율을 결정하는 역할을 한다. (4)의 UREA BOND FORMATION 반응은 (3)의 반응을 통해 생성되는 아민(C)가 디이소시아네이트 분자와 반응해서 우레아를 형성하는 일종의 부반응으로서 우레아결합을 갖는 고분자는 우레탄결합만을 갖는 고분자에 비해 상대적으로 기계적 특성 등 물성이 좋지 않다.

이상의 반응들이 폴리우레탄 생성원료인 주제와 경화제의 혼합에 의해 일어날 수 있는 반응들로서 이반응들이 복합적으로 일어나 원료액이 발포고결체로 변화되는 현상이 나타나는 것이다. 일반적으로 반응생성물인 폴리우레탄의 물성은 (1)반응에 의한 우레탄결합이 상대적으로 많이 생성되어야 강도 및 기타 물성이 우수해지고 (4)의 우레아화 반응이 많이 일어날수록 물성이 저하되는 경향이 있다. 따라서 이와 같이 반응들을 어떻게 조절하느냐가

생성 폴리우레탄의 세부적인 물성을 좌우하는 요소가 된다.

3-2. 촉매의 선택 및 효과

앞절에서 설명한 반응들이 원활히 진행되기 위해서는 소정의 촉매가 필요로 되며, 촉매를 첨가하지 않으면 반응속도가 너무 느려 발포 및 고결이 일어나지 않는다. 이때 사용될 수 있는 촉매로는 유기금속계 촉매(OM)와 입체장해효과가 큰 3차아민계 촉매(TA)와 같은 염기성 촉매가 사용된다. 이는 주제에 첨가되는 것으로서 이들의 종별 및 첨가량이 폴리우레탄 생성과 관련된 제특성에 미치는 영향에 관해 검토하였다.

① 촉매양에 따른 라이즈타임(반응속도)의 변화

유기금속계 촉매 및 3차아민계 촉매의 각각의 첨가량에 대한 폴리우레탄 생성반응에 수반되는 라이즈타임(20℃에서)을 검토한 결과를 그림 1 에 나타내었다.

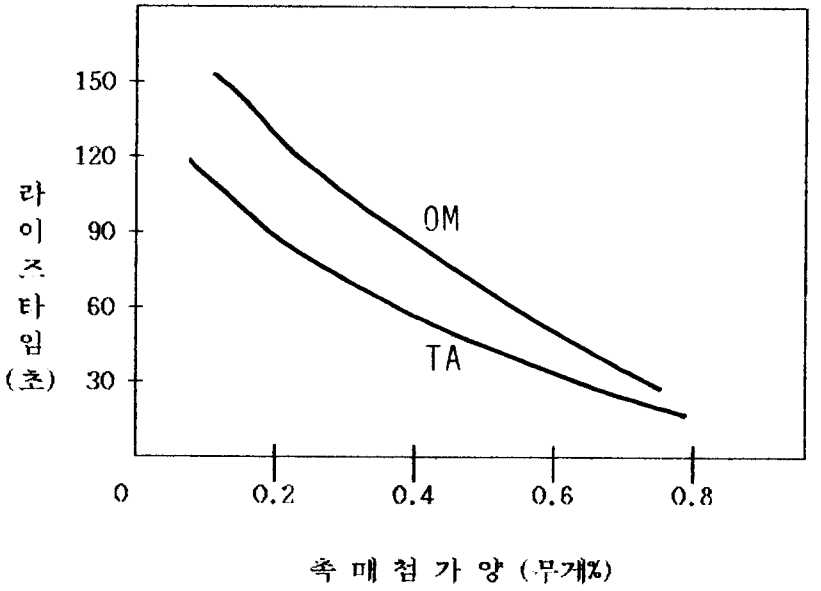


그림 1 촉매종류 및 첨가량이 라이즈타임에 미치는 영향 (20℃)

실험결과에 따르면 동일양의 촉매첨가시 라이즈타임은 3차아민계 촉매(TA)가 유기금속계 촉매(OM)에 비하여 전반적으로 빠른 결과를 나타내었으나 OM계 촉매의 경우가 첨가양의 증가에 따른 라이즈타임의 단축효과는 더욱 크게 나타내었다.

② 촉매양에 따른 발포배율

발포제로서 동일양의 수분을 함유할 때 유기금속계 촉매 및 3차아민계 촉매의 각각의 첨가량에 대한 폴리우레탄 생성반응에 수반되는 발포배율(20℃)을 검토한 결과를 그림 2에

나타내었다.

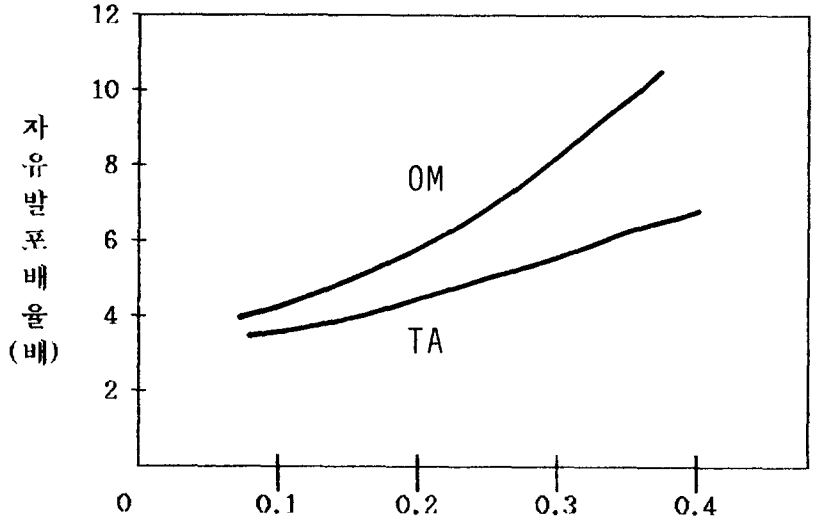


그림 2 촉매종류 및 첨가량이 발포배율에 미치는 영향 (20°C)

실험결과에 따르면 OM계 촉매를 사용할 경우가 TA계 촉매를 사용할 경우보다 전반적으로 높은 발포배율을 나타내었다. 이것은 OM계 촉매가 TA계 촉매와 비교해 전술한 3-1)에서의 HYDRATION 반응(2) 및 FOAMING 반응(3)을 활성화시키는 효과가 더욱 커 발포가스인 탄산가스의 방출양이 많고 방출속도가 급격하기 때문인 것으로 판단되었다. 또한 촉매양에 따른 발포배율을 검토한 결과 OM계 촉매는 촉매양 증가에 따라 발포배율의 증가가 현저하였으나 TA계 촉매는 큰 차이를 나타내지 않았다.

③ 사용촉매와 생성폴리우레탄의 기계적 성질과의 관계

사용촉매와 생성폴리우레탄 발포고결체의 기계적특성과의 상관관계를 살펴보기 위해 OM계 촉매 및 TA계 촉매를 사용하여 각각 발포배율을 4배, 10배로 조절하여 자유발포, 반응시킨 결과를 표 1에 나타내었다.

표 1 촉매에 따른 생성 폴리우레탄 발포고결체의 기계적 특성

구 분	4 배 발 포		10 배 발 포	
	OM	TA	OM	TA
일축압축강도(Kg/cm²)	39	45	9	16
굽힘강도 (Kg/cm²)	60	71	17	27

이 결과에 따르면 OM계 촉매를 사용하는 경우보다 TA계 촉매를 사용하는 경우가 생성되는 폴리우레탄 발포고결체의 기계적 성질이 보다 우수함을 알 수 있었다. 특히 발포배율이 큰(10배) 경우에는 이러한 현상이 더욱 두드러지게 나타남을 알 수 있었는 바 이러한 이유는 OA계 촉매를 사용할 경우 3-1)에서의 HYDRATION 반응(2) 및 FOAMING 반응(3)을 활성화시키는 효과가 더욱 커 이것이 결과적으로 우레아화반응(4) 생성물을 많이 생성시키기 때문에 물성이 저하되는 것으로 생각되었다.

또한 이상의 현상을 좀 더 구체적으로 규명키 위해 주제/경화제 약액을 혼합 후 과량(혼합약액에 대해 부피비로 20배의 양)의 물속에 투입하여 반응시켜 보았다. 그 결과 자유발포시 4배로 발포되는 것이 수중에서는 각각 9배 (TA계 촉매사용경우) 및 12배(OM촉매사용경우)로 발포되었는 바 이들의 압축강도를 표 2에 나타내었다.

표 2 수중에서의 촉매에 따른 생성 폴리우레탄 발포고결체의 기계적 특성

구 분	OM 계 촉매사용경우	TA 계 촉매사용경우
발포배율	12배	9배
일축압축강도(Kg/cm^2)	2	12

이 결과에 따르면 OM계 촉매를 사용할 경우가 TA계 촉매를 사용할 경우 보다 수중에서의 발포배율이 상당히 커지고 또 발포율 차이를 고려한다 해도 강도저하가 현저하게 일어나는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 OM계 촉매를 사용할 경우 전술한 바와 같이 HYDRATION 반응(2), FOAMING 반응(3)이 더욱 활성화되어 약한 우레아가 형성되는 반응(4)이 많이 일어나기 때문인 것으로 생각되었다.

이상과 같은 촉매에 의한 영향을 종합적으로 검토하면 폴리우레탄 생성반응용 촉매로는 OM계 촉매보다 TA계 촉매가 거의 모든면에서 유리한 것을 알 수 있다. 특히 용도적인 측면에서 볼 때 본 폴리우레탄 약액이 수분 혹은 습기와 접촉가능성이 높은 지반보강용임을 감안하면 다량의 수분에 의해 기계적 강도가 현저히 저하되게 하는 OM계 촉매의 사용은 바람직하지 않는 것임을 알 수 있다.

3-3. 수분함량에 따른 발포특성

이 절에서는 발포제로서 첨가하는 수분의 양에 따른 발포 배율 및 라이즈타임 등 발포특성에 관하여 검토하였다. 수분의 함량이 높을수록 전술한 3-1)의 HYDRATION(2) 과 FOAMING 반응(2)의 반응이 많아지기 때문에 발포배율이 커질 것은 예상되었으나 정확한 양상을 확인키 위해 수분함량에 따른 발포배율의 증가경향을 실험을 통해 관찰하였다.

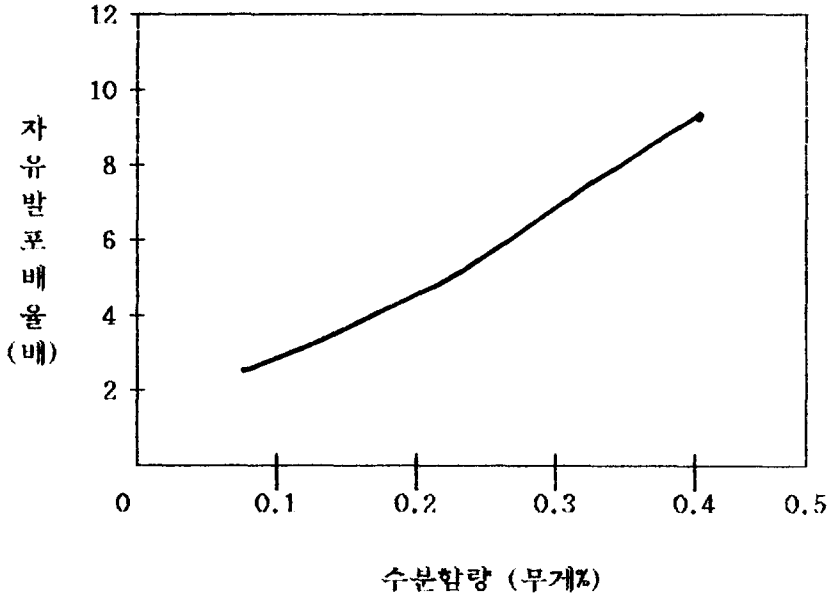


그림 3. 수분함량이 발포배율에 미치는 영향(20°C)

실험결과는 예상한대로 그림 3 에서와 같이 수분함량이 증가함에 따라 그의 발포배율은 선형적으로 증가하는 경향을 나타내었다.

한편, 수분함량의 변화에 따라 라이즈타임이 어떻게 변화하는가를 관찰한 결과 그림 4와 같이 수분함량 증가에 따라 라이즈타임은 다소 단축되는 경향을 나타내었으나 폴리우레탄의 실용발포배율인 2-15배의 범위에서는 그 폭은 크지않은 것으로 나타났다.

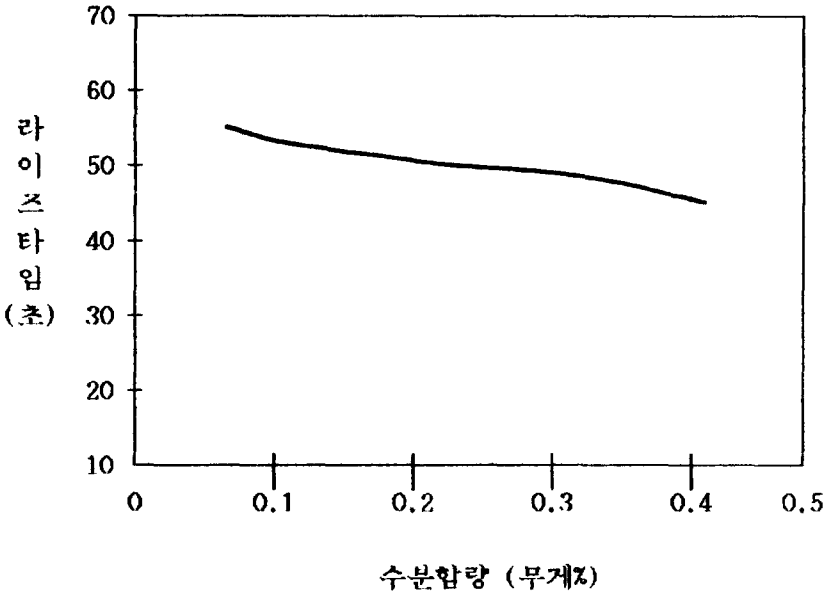


그림 4. 수분함량이 라이즈타임에 미치는 영향(20°C)

3-4. 폴리우레탄 생성용 원료약액의 점성도 및 관련특성

폴리우레탄 생성 원료약액의 점도 및 이의 반응진행과정중의 점성도 특성은 지반중으로의 주입 및 침투성과 밀접한 관계가 있다. 따라서 이 절에서는 약액점도의 저하방법 및 조절가능성에 관하여 검토하였다.

① 원료약액의 점성도 조절방법 및 그 영향

주제 및 경화제 약액은 각각의 주원료로 이용되는 다가알코올계 물질 및 MDI계 물질이 실온(20°C)에서 비교적 높은 점성을 지니게 때문에 그대로 지반주입용의 약액으로 사용하면 주입성능이 좋지 못할 것이므로 점도를 낮춰줄 필요가 있다. 통상적으로 이러한 목적을 위해 사용될 수 있는 것으로 디클로로메탄과 같은 휘발성 점도저하제이다. 그러나 이러한 계통의 점도저하제를 사용할 경우에는 이것이 휘발성이 너무 커 두액혼합에 의해 생성되는 폴리우레탄 발포고결체가 차후 심한 수축을 일으키는 등 물성의 저하를 가져올 가능성이 있을 것으로 예상되었다. 따라서 본 연구에서는 차후 폴리우레탄 발포고결체의 수축율이 매우 작고 또한 소량 첨가에 의해 탁월한 점도저하 현상을 나타내는 것으로 확인된 3급 아미드계 화합물을 첨가하여 점도를 조절하였으며 그 성능을 비교키 위해 점도저하제로서 디클로로메탄 및 3급아미드계 화합물을 주제 및 경화제에 각각 5%씩 첨가할 경우의 각각의 점도 및 이들로 부터 생성된 폴리우레탄 발포고4결체의 수축율을 측정한 결과를 표 3 에 나타내었다.

표 3 첨가 점도저하제의 종류에 따른 폴리우레탄 원료약액 및 발포고결체의 특성

구 분	점도저하제미사용시		디클로로메탄(5%)사용시		3급아미드화합물(5%)사용시	
	주 제	경화제	주 제	경화제	주 제	경화제
점도(20°C)	90	85	70	65	40	35
발포수축율	-		약40%		5%이하	

이 실험결과에 따르면 점도를 낮추기 위해 필요로 하는 점도저하제로는 표 3에서와 같이 디클로메탄과 같은 휘발성 점도저하제를 사용할 경우에는 예상대로 수축율이 매우 심할 뿐 아니라 점도저하효과도 작은 것이 확인된 반면 3급아미드계 화합물을 사용할 경우 수축율도 적고 점도저하효과도 보다 큰 것으로 나타나 점도저하제로서는 3급아미드계 화합물을 사용하는 것이 보다 유리함을 알 수 있었다.

② 폴리우레탄 생성반응열

폴리우레탄 생성반응은 발열반응으로서 많은 열량을 방출한다. 이에 따라 반응진행시 자신의 온도가 높아지게 되며, 이와 더불어 겔화가 일어나기 전까지는 약액의 점도도 낮아

지는 현상이 발생한다. 먼저 라이즈타임 60초짜리 및 180초짜리 약액의 혼합반응시 발열에 의한 온도변화를 알기 위해 관찰한 결과를 각각 그림 5및 그림 6에 나타내었다.

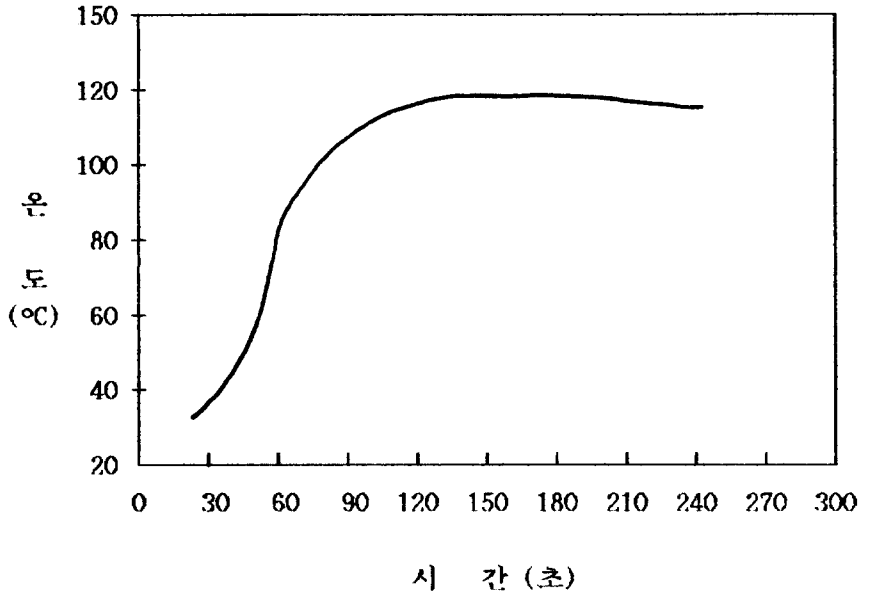


그림 5 폴리우레탄 생성반응시의 온도변화
(20°C에서 라이즈타임 60초인 시료의 경우)

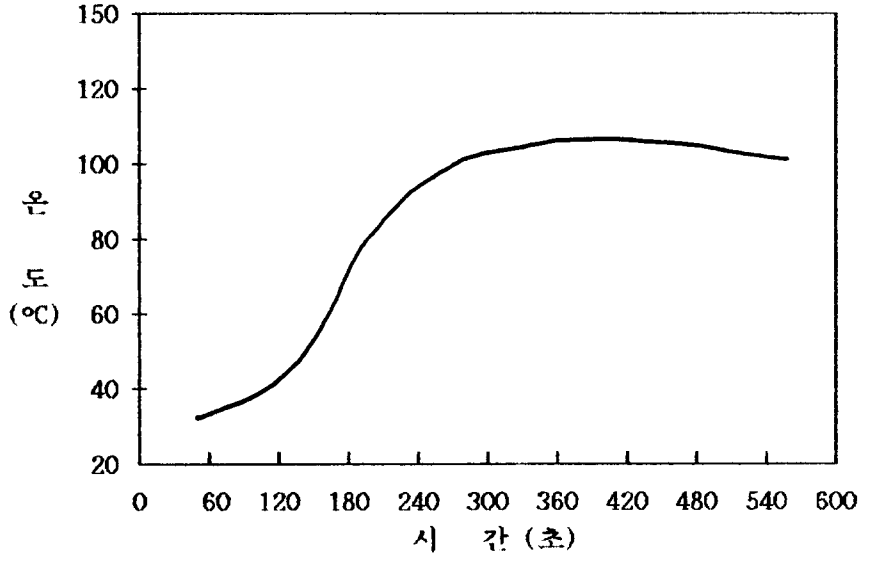


그림 6 폴리우레탄 생성반응시의 온도변화
(20°C에서 라이즈타임 180초인 시료의 경우)

이를 검토하면 주제/경화제 두액의 혼합후 라이즈타임 60초짜리와 180짜리는 각각 30초 및 70초 경과시 부터 반응에 의한 발열이 시작되어 비교적 완만한 온도상승을 보이다가 라이즈타임 부근에서 급격한 온도상승을 나타낸 후 다시 계속해서 완만한 온도상승을 나타내었다. 화학반응속도론적 개념으로 이러한 온도변화현상을 해석하면 두액 혼합에 의해 초기

에는 서서히 반응이 진행되나 이때 발열되는 열량이 반응을 촉진시키는 활성화에너지의 공급원으로 작용하여 반응속도를 매우 빠르게 하므로 이 짧은 시간동안에 대부분의 화학반응이 일어나 (이때 라이즈현상이 수반된다.)단위시간당 발열양이 많아지고 온도가 급격히 상승하는 것으로 생각할 수 있다. 또한 급격한 온도상승이후에는 최종적으로 아직 반응하지 못한 일부가 마저 반응되어 약간의 발열현상을 나타내어 완만한 온도상승을 나타내며 반응이 종결된 후에는 겔화되어 폴리우레탄 발포고결체의 특징인 우수한 단열특성에 의해 장시간 항온을 유지한다. 라이즈타임이 60초로 짧은 것의 경우는 반응속도가 상대적으로 빨라 단위시간당 열량방출이 많으므로 온도상승 최고치가 라이즈타임 180초의 것보다 더 높게 나타났으며 온도상승곡선이 더욱 좁고 가파른 경향을 나타낸다.

이와 같이 폴리우레탄 생성반응의 진행에 따라 계내의 온도가 상승하는 특성이 있으므로 반응진행에 따라 점성도가 변화될 것은 분명한 바 다음 절에서 온도변화에 따른 약액점도의 변화에 대해 검토하였다.

③ 온도변화 및 반응진행에 따른 약액점성도의 변화특성

앞절에서 폴리우레탄 생성에 수반되는 온도변화에 따라 약액의 점도가 어떻게 변화되는가를 알기 위해 주제/경화제 혼합액의 온도변화에 따른 점도변화를 관찰한 결과를 그림 7에 나타내었다. 이때 반응이 진행되면 변화속도가 너무 빨라 점도측정치를 읽기가 매우 어렵기 때문에 약액중에 촉매를 제거하여 반응속도를 매우 느리게 한 후 외부에서 열을 가하여 일정온도에 도달시킨 후 그 때의 점도를 측정하는 방법을 통해서 측정을 실시하였다.

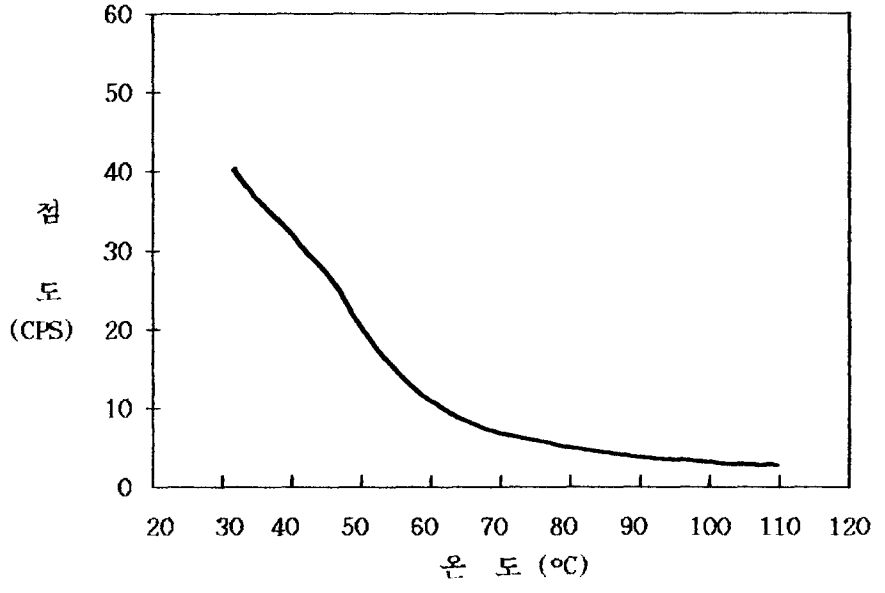


그림 7 온도변화에 따른 혼합약액의 점성도

20°C 에서 40 cps의 점도를 갖는 주제/경화제 혼합액이 온도상승에 따라 점도가 낮아지는 것을 알 수 있었으며 특히 온도가 60°C 에 도달하면 10cps 정도까지, 80°C에 도달하면 5cps정도까지로 점도가 매우 낮아지는 것을 알 수 있었다.

한편, 앞절 그림 5및 6의 시간경과에 따른 온도변화를 그림 7을 이용하여 점도변화로 변환한 결과를 그림 8 및 9에 각각 나타내었다.

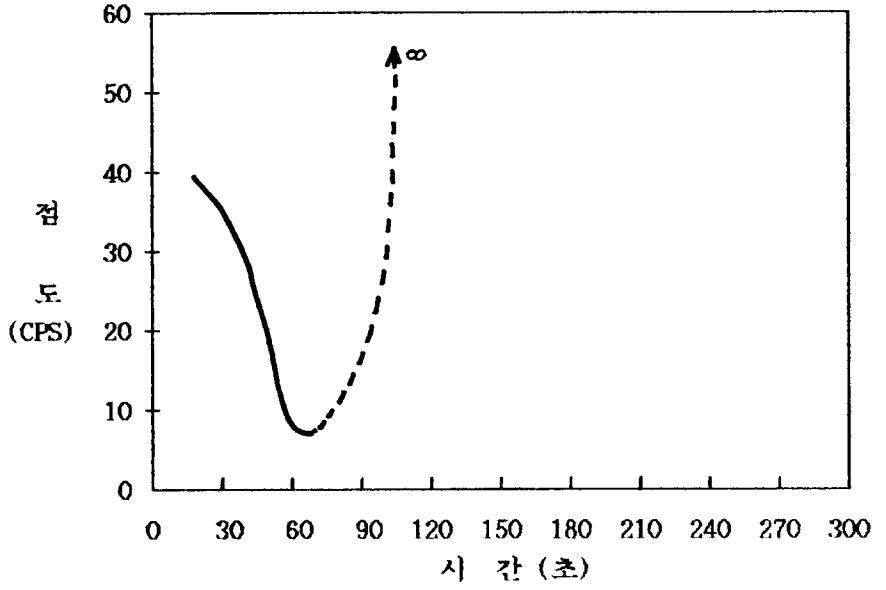


그림 8 폴리우레탄 생성과정중의 추정약액혼합점도
(20°C에서 라이즈타임 60초인 시료의 경우)

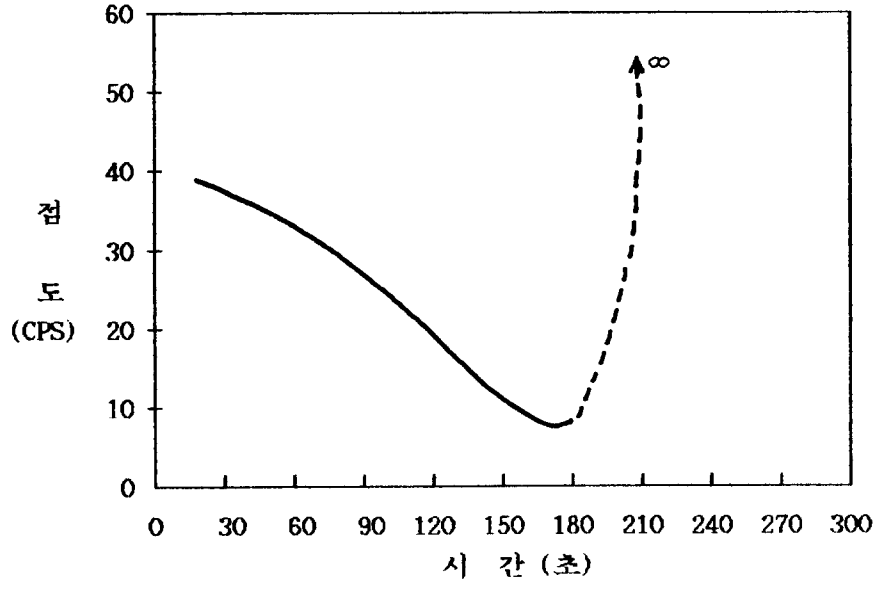


그림 9 폴리우레탄 생성과정중의 추정약액혼합점도
(20°C에서 라이즈타임 180초인 시료의 경우)

그림 8 및 Fig. 9 에 있어서 점도가 특정지점(각각 60초 이후 및 180이후)에서 급상승하는 것은 실제에 있어서 시료는 라이즈타임이후 즉시 고체상 겔로 변화되어 점도가 측정불가능치로 높아지는 것을 가상적으로 표시한 것이다. 그림 8의 경우는 이 시료가 반응속도가 상대적으로 빠르므로 온도상승폭이 크고 이에 따라 점도의 저하폭이 크나 저점도영역의 체류시간폭이 상대적으로 짧은 것을 보여준다. 반면 그림 9의 경우는 시료의 반응속도가 상대적으로 느려 온도상승폭이 작고 이에 따라 점도의 저하폭은 상대적으로 작으나 저점도영역의 체류시간폭이 상대적으로 길게 나타난다.

폴리우레탄약액의 지반중으로의 주입 및 침투특성을 좋게하기 위해서는 약액의 저점도가 장시간 유지될수록 유리할 것이므로 폴리우레탄 발포고결체의 기본특성이 가능한 저하되지 않는 범위에서 저점도를 장시간 유지할 수 있는 방법이 강구되어야 할 필요가 있다. 그림 8의 경우처럼 라이즈타임 60초 짜리의 시료는 낮은 점도의 도달은 이뤄지나 단, 저점도 유지시간이 짧기 때문에 크게 만족할만 하지는 않으며 또한 그림 9의 경우와 같은 라이즈타임 180초짜리 시료는 저점도유지시간은 비교적 길지만 도달점도는 상대적으로 높다. 따라서 본 연구에서는 낮은 점도도달과 긴 저점도유지시간을 갖도록 조절할 수 있는 방법을 찾기 위해서 적정양의 사슬연장제(Chain Extender)를 사용한 결과 비교적 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었다. 사슬연장제란 각종 폴리우레탄 제품의 물성중 특히 치수안정성등을 향상시키기 위하여 사용되는 첨가제이다. 기존에 많이 사용되고 있는 사슬연장제로는 일명 MOCA라는 방향족 1차 디아민계 화합물이 있는데 이를 첨가하면 약액 B의 주성분인 MDI와 반응하여 우레아 결합을 생성하므로 기계적 특성은 약간 저하되는 경향을 일반적으로 나타내므로 우수한 기계적 강도가 요구되는 경우에는 사용이 적합치 않다. 그러나 디아민 계통의 사슬연장제를 첨가하면 이것이 경화제 성분인 MDI와 반응할 때의 반응열이 주제의 주성분인 다가알코올과 MDI간에 반응에 의한 반응열보다 더욱 커 발열양이 많기 때문에 온도상승효과는 크고 이에 따라 점도저하측면에서는 효과적일 것으로 판단되었다. 따라서 본 연구에서는 분자구조가 전술한 MOCA와 비교해 보다 rigid한 segment 를 지녀 기계적 특성에 있어서의 저하가 최소화될 수 있을 것으로 예상된 방향족 2차 디아민계 화합물인 SDA-400 이라는 사슬연장제를 사용하여 그 특성을 검토하기 위해 사슬연장제 SDA-400를 무게비 5%로 주제에 첨가, 혼합하고 주제/경화제 혼합시 라이즈타임을 20°C에서 180초로 조절한 시료의 반응에 의한 온도변화를 관찰한 후 이를 그림 7의 관계를 이용, 폴리우레탄 생성과정중의 점도를 추정한 그림을 그림 10에 나타낸 바 SDA-400을 사용하는 경우에 점도는 폴리우레탄 생성과정중의 점도는 매우 낮아질 수 있으며 또한 저점도의 유지시간이 대폭 길어질 수 있는 것으로 추정됨에 따라 이를 사용할 경우 약액의 주입성능 및 침투능력이 상당히 향상될 것으로 기대되었고 또한 SDA-400 5%를 사용해서 얻어진 발포고결체의 기계적 특성을 조사한 결과 이를 첨가하지 않은 경우와 거의 유사한 값이 얻어진 바 이 물질은 강도저하를 야기하지 않는 것을 확인할 수 있었다.

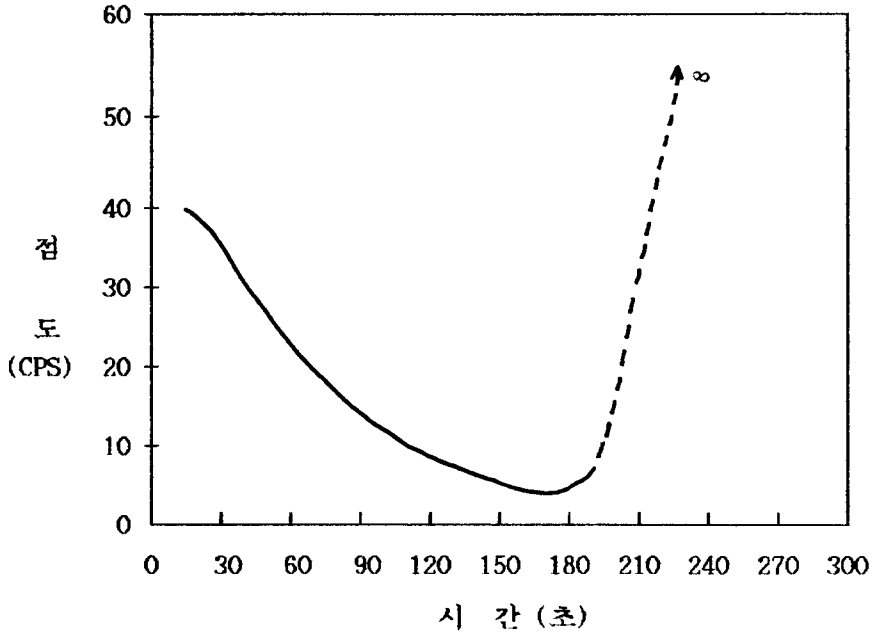


그림 10 SDA-400(5%을 사용한 경우 폴리우레탄 생성과정중의 추정약액혼합점도
(20°C에서 라이즈타임 180초인 시료의 경우)

4. 결 론

본 연구에서는 지반보강용 폴리우레탄 약액의 제 특성 규명 및 그의 특성조절방법에 관하여 연구, 검토한 결과 다음과 같이 종합적인 결론을 얻을 수 있었다.

1) 폴리우레탄 생성원료약액의 반응촉매로는 유기금속계촉매 보다는 3차아민계열의 촉매가 유리하며 특히 차수목적 또는 습도가 높은 지질에 사용시에는 더욱 효과적일 것으로 기대되었다.

2) 수분함량에 따른 폴리우레탄 고결체의 발포배율은 수분증가에 따라 선형적으로 증가하는 경향을 나타내었으나 이로 인한 라이즈타임의 변화는 미미하였다.

3) 원액의 점도저하를 위해서는 디클로로메탄과 같은 휘발성 점도저하제보다는 3급아미드계 화합물이 수축율 감소, 점도저하 성능면에서 모두 탁월하였다.

4) 주입 침투성능 향상을 위해 필요한 폴리우레탄 생성과정중의 점도저하 및 저점도 유지시간 범위확대에는 SDA-400 과 같은 특정한 화합물의 첨가가 매우 효과적이었다.

5. 참고문헌

1. 島田俊介, 兼松陽, 最新の地盤注人工法, 改訂版, 理工圖書
2. 송치용, 남순성, 천병식, 대한토목학회논문집, Vol. 11, No.4, 1991.12, pp189
3. 島田俊介 外, 土木施工, Vol. 24, No. 2-6, 山海堂, 1983
4. 島田俊介 外, "新しい氣液反應GROUTの開發", 日本土質工學會 22回 土質工學研究發表會
5. 島田俊介 外, 最先端技術の藥液注人工法, 理工圖書, 1989
6. 蒔田實, 藥液注入材料の研究開發, 調査·研究報文
7. Henri Ulrich, Encyclopedia of Chemical Technology, Vol.23, A Wiley-Interscience Publication, 1983, pp 575-608