

지반보강용 폴리우레탄의 적정 배합을 통한 기계적·열적 물성향상.

박문수* 채영수** 김수만** 허영**

초 록

Polyol을 주성분으로 하는 A액과 MDI계 isocyanate로 구성된 B액을 배합비와 배합속도를 각각 1:2에서 1:4까지, 300rpm에서 900rpm까지 변화시키면서 혼합하였다. 생성된 foamed polyurethane은 600rpm의 배합속도에서 배합비가 1:2에서 1:4로 감소함에 따라 발포율이 증가하는 현상을 보였다. 300rpm의 배합속도에서는 거의 발포가 되지 않았음, 900rpm의 배합속도에서는 발포는 되었으나 brittle한 물성을 보였다. 열변형온도 및 하중에 대한 변형율은 600rpm에서 1:2에서 1:3의 배율시 가장 우수한 것으로 관찰되었다.

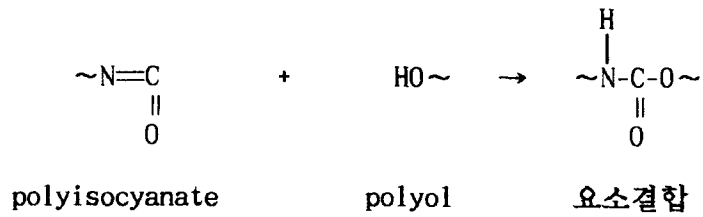
I. 서 론

토목 공사에서 자주 접하게 되는 연약지반의 보강에 최근들어 polyurethane이 사용되고 있는 것은 널리 알려진 사실이다. 이러한 polyurethane의 재료로는 몇 가지가 현재 사용되고 있으나, 특히 TBU(Talus Bouded Urethane)는 우수한 발포율 및 안정성으로 인하여 가장 많이 현장에 적용되고 있다. 이는 2액 성분의 액체를 혼합하여, 연약 지반 사이로 주입함으로써, 터널지반 보강·여굴 방지·효율적인 봉합작용·지지력 강화들의 효과 뿐만 아니라 발포 압력을 이용한 저점도 액으로서 미세한 곳 까지 침투할 수 있는 이중 효과를 가질 수 있다. 또한 공정에 소요되는 시간이 짧고, 강한 접착성 및 물과의 비상용성을 인하여 지하수 등에 의한 침투 우려가 없으므로, 공사 뒤에 오는 부작용이 없고 그 안정성이 보장되어, 가장 신뢰받는 연약지반 보강법으로 정착되어 왔다.

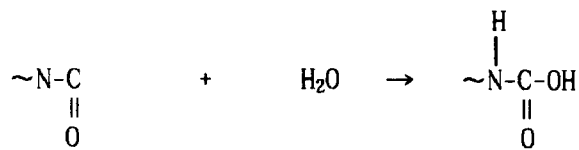
Polyurethane의 반응 mechanism은 polyol 수산기와 isocyanate기가 정지 교반기 내에서 혼합교반의 과정에 의해 요소결합하는 것으로서, 3차원의 망상구조를 형성하는 것이다. 이러한 가교반응의 주 mechanism은 다음과 같다.

*수원대 고분자공학과 교수 ** 수원대 토목공학과 교수

(i) 중합 반응

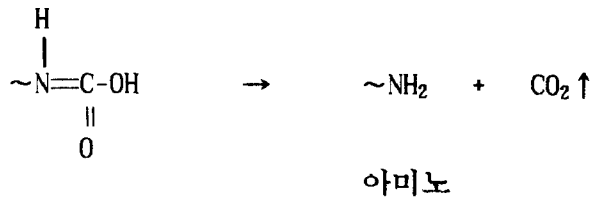


(ii) 가수 반응

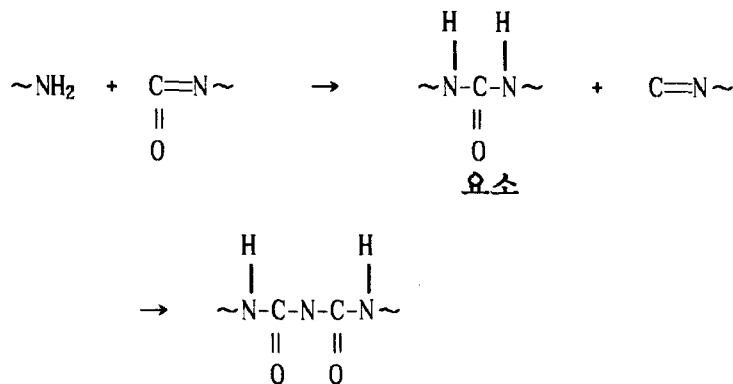


물과 접촉하면 즉시 반응한다.

(iii) 발포 반응



(iv) 가교 반응



그러나, 이에 사용되는 액들이 현재까지 거의 수입에 의존하여 온 실정이라, 우수한 연약지반 보강재 임에도 불구하고, 높은 공사비로 인한 어려움이 있었다. 본 연구팀은 이러한 취지 하에 foamed polyurethane에 사용되는 TBU-A 및 TBU-B액의 공동 개발에 태백공영(주)과 공동참여, 이의 국산화에 성공하였다. 본고에서는 이러한 국산화된 TBU-A 및 B액의 강도 및 열적특성 측정을 두 액의 배합비 및 배합속도에 기준을 두고 기존의 일산 제품과 비교·검토 하여 본다.

II. 실험절차

TBU-A액(주성분 polyol)과 TBU-B액(주성분 isocyanate)의 prepolymer를 주어진 배합비에 맞추어, 총용액양이 60ml가 되도록 측정 후 혼합한다. 혼합과 동시에 선택된 교반속도에서 30초간 교반한다. 교반속도는 300·600·900rpm의 세가지 속도를, 혼합비는 1:2, 1:2.5, 1:3, 1:3.5 그리고 1:4의 배합비를 선택하였다. 교반을 멈추고, 발포진행과 함께 반응온도를 잰다. 반응이 완료되면, 다양한 조건에서 형성된 polyurethane의 부피팽창을 및 강도를 측정한다. 강도측정에는 steven deformation tester(Model BC8149)을 사용하였으며, 8kg의 하중을 부과하였다. 열적특성은 DuPont DSC(Model 9900)를 사용하여 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

실험에 사용된 TBU-A액의 성분은 표 1.과 같으며, B액은 MDI계 prepolymer에 MDI의 2량체, 3량체를 배합한 용액이다.

표 1. TBU-A액 성분

구 성 분	함 량(%)
특수 polyol	30-70
일반 polyol	1-4
가 교 제	8-15
정 포 제	0.3-1
발 포 조 제	0.5-3
점도 저하제	1-3
합 계	100

300·600 및 900rpm의 교반속도에서 A액 및 B액의 혼합비는 1:2, 1:2.5, 1:3, 1:3.5 그리고 1:4를 취하였다. 300rpm의 교반속도에서는 발포비에 관계없이, 거의 발포가 되지 않았다(그림 1).

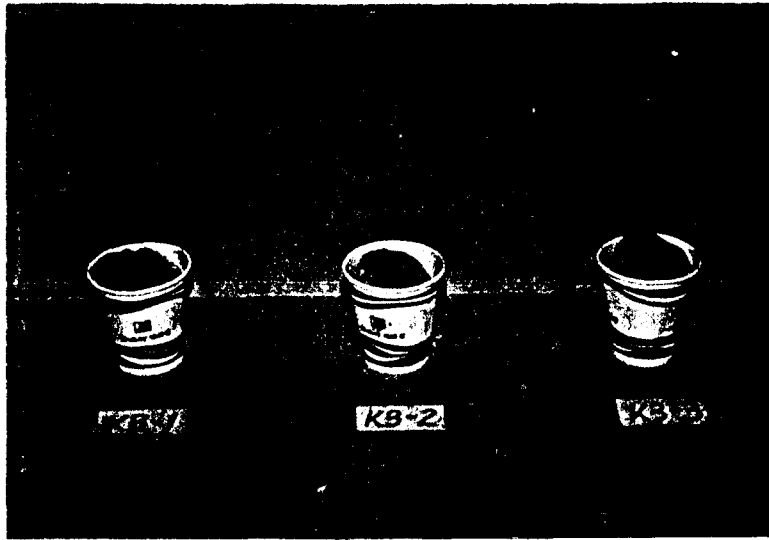


그림 1. 300rpm에서 발포비에 따른 polyurethane의 발포현상.

- K3-1 : 300rpm, 1:2의 배합비
- K3-2 : 300rpm, 1:3의 배합비
- K3-3 : 300rpm, 1:4의 배합비

600rpm의 배합속도에서는 발포비가 1:2에서 1:4로 증가함에 따라 발포율이 서서히 증가됨을 보였다(그림 2). 그림 3은 일산의 TBU-A액 및 B액을 동일조건에서 혼합하여 발포시킨 현상을 보이고 있다.

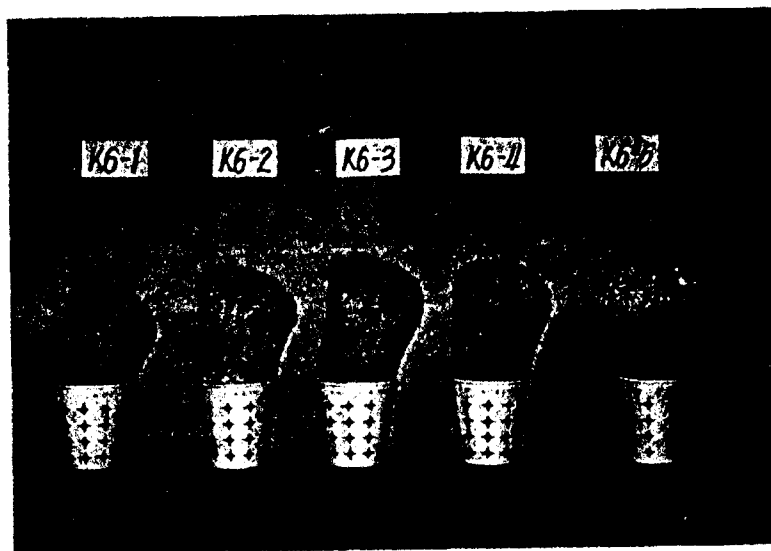


그림 2. 600rpm에서의 배합비에 따른 polyurethane의 발포현상.

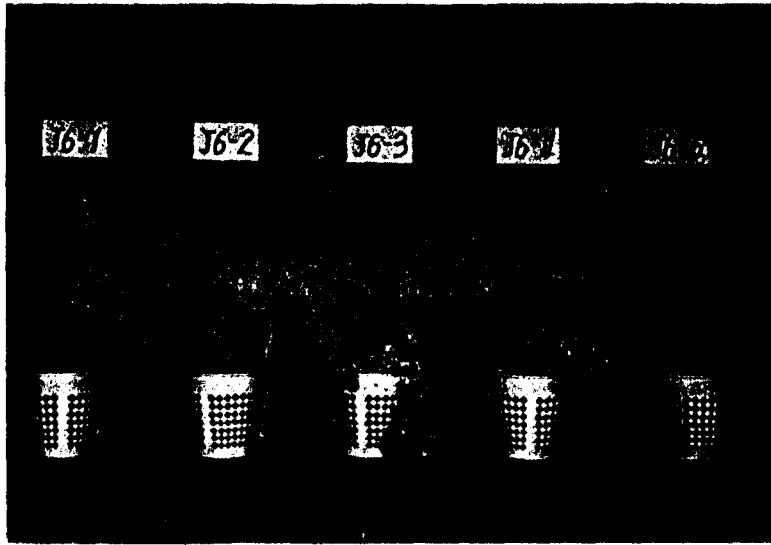


그림 3. 600rpm에서의 배합비에 따른 일산 polyurethane의 발포현상.

그림 4 및 5는 각각 국산과 일산의 900rpm에서의 배합비에 따른 발포현상을 보이고 있다.

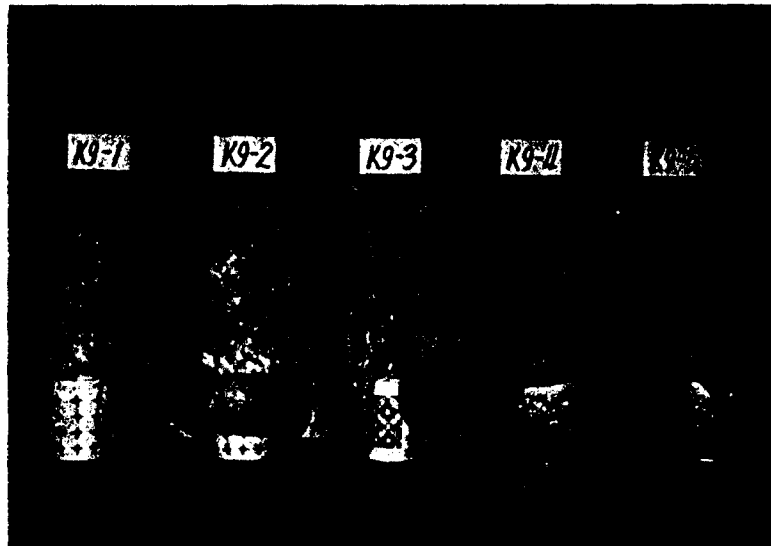


그림 4. 900rpm에서의 배합비에 따른 polyurethane의 발포현상.

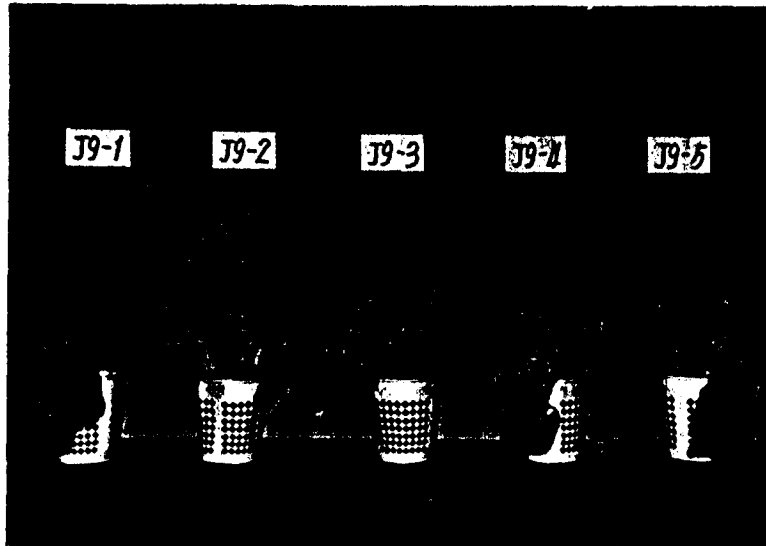


그림 5. 900rpm에서의 배합비에 따른 일산 polyurethane의 발포현상.

반응속도와 반응비에 따른 발포과정에서의 온도변화는 첫 1분내에 급격한 온도상승을 보인 후 서서히 평형점에 도달하였다(표 2). 반응시간은 반응속도 및 비에 따라 차이는 있으나, 5분 정도 소요되었다. 단, 1:2.5의 배합비에서는 3분 후에는 거의 반응이 완료되는 것으로 관찰되었다. 일산 원액을 사용한 결과는 표 3에 도표화 되어있는 바와 같다.

표 2. 배합속도 및 배합비에 따른 polyurethane 발포과정에서의 온도변화.

배합비 교반속도 (rpm)	1:2		1:3		1:4	
	600	900	600	900	600	900
시간						
1 분	80	82	92	80	77	71
2 분	98	98	126	92	92	79
최종온도	122	106	130	106	110	83
반응총소요시간	5' 50"	4'	4'	5'	5'	4'

표 3. 배합속도 및 배합비에 따른 일산 polyurethane 발포과정에서의 온도변화.

배합비 교반속도 (rpm)	1:2		1:3		1:4	
	600	900	600	900	600	900
시간						
1 분	92	84	104	72	92	72
2 분	109	96	118	84	106	88
최종온도	113	102	118	84	106	92
반응총소요시간	5' 30"	4' 50"	5' 50"	5' 10"	6' 40"	6' 30"

고분자물의 열적특성을 나타내어주는 유리전이 온도를 측정한 결과는 표 4와 같다.

표 4. 배합속도 및 배합비에 따른 국산 및 일산 polyurethane의 유리전이온도 변화(600rpm).

종류 \ 배합비	1:2	1:3	1:4
국산(℃)	74.40	89.85	58.99
일산(℃)	44.99	48.14	53.57

변형강도계를 사용한 변형도는 표 5와 같다.

표 5. 배합속도 및 배합비에 따른 국산 및 일산 polyurethane의 변형도 변화(하중=8kg).

종류 \ 배합비	1:2	1:3	1:4
국산(inch)	0.0982	0.1266	0.3144
일산(inch)	0.1414	0.1002	0.1074

IV. 결 론

개발된 TBU-A액 및 B액은 일산에 비하여 배합속도와 배합비의 영향을 많이 받으나, 적정 배합속도와 배합비에서는 오히려 발포 효과가 큰 것으로 증명되었다. 적정 배합속도는 600rpm, 그리고 배합비는 1:2.5에서 1:3으로 판단된다. 900rpm에서는 물성변화 (degradation)가 심하여 색 변화 및 brittle한 물성으로 바뀌어져 연약지반 보강효과를 낼 수 없었으며, 300rpm에서는 배합비에 관계없이 발포가 되지 않았다. 이는 발포제 및 촉매의 양 조절을 통한 배합비 및 원재료에 대한 연구를 통하여 개선될 수 있다고 판단 된다.

V. 참고 문헌

1. Tan, S.L. (1983) Geotechnical properties and laboratory testing of soft soils in Singapore, Int. seminar on Construction Problems in Soft Soils, Singapore.
2. Paul F. Bruins (1969) Polyurethane Technology, Polytechnic Institute of Brooklyn, New York.
3. C. Hepburn (1992) Polyurethane Elastomers, Elsevier Applied Science, London and New York.