



UDK:678.742+678.746:535.34

Nizomiddin DUSIYOROV,
O‘zR FA Polimerlar kimyosi va fizikasi instituti tayanch doktoranti
Shodiya MARDONOVA,
O‘zbekiston Milliy universiteti magistranti
Qodirbek BERDINAZAROV,
O‘zR FA Polimerlar kimyosi va fizikasi instituti katta ilmiy xodimi, PhD
Nurbek NORMURADOV,
O‘zR FA Polimerlar kimyosi va fizikasi, instituti kichik ilmiy xodimi, PhD
Elshod HAQBERDIYEV,
O‘zR FA Polimerlar kimyosi va fizikasi instituti, katta ilmiy xodimi, PhD

JizPI professori, f.-m.f.n. A. Mustafakulov taqrizi asosida

FTIR ANALYSIS OF PEI/PET BLEND: POLYMER INTERACTIONS AND STRUCTURAL CHANGES

Annotation

This paper presents an analysis of PEI/PET polymer blends using infrared (IR) spectroscopy. Spectral data allowed the identification of hydrogen bonding and other molecular interactions between polymers. The addition of PEI altered the vibrational characteristics of functional groups in the PET matrix, shifting certain peaks and reducing their intensity. The results indicate that IR spectroscopy is an effective method for evaluating structural and chemical changes in PET/PEI blends, helping to determine their phase state and compatibility.

Key words: poly(etherimide), poly(ethylene terephthalate), polymer blends, IR spectroscopy, functional groups.

ИК-СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СМЕСИ ПЭИ/ПЭТ: ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОЛИМЕРОВ И СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ

Аннотация

В данной статье проведен анализ полимерных смесей PEI/PET с использованием инфракрасной (ИК) спектроскопии. Спектральные данные позволили выявить водородные связи и другие молекулярные взаимодействия между полимерами. Добавление PEI изменило колебательные свойства функциональных групп в матрице PET, вызывая смещение некоторых пиков и снижение их интенсивности. Результаты показывают, что ИК-спектроскопия является эффективным методом для оценки структурных и химических изменений в смесях PET/PEI, а также для определения их фазового состояния и совместимости.

Ключевые слова: полиэфиримид, полиэтилентерефталат, полимерные смеси, ИК-спектроскопия, функциональные группы.

PEI/PET ARALASHMASINING IQ - SPEKTROKOPIYA TAHLILI: POLIMER O‘ZARO TA‘SIRLARI VA TARKIBIY O‘ZGARISHLAR

Annotatsiya

Ushbu maqolada PEI/PET polimer aralashmalarining infraqizil (IQ) spektroskopiya yordamida tahlili o‘tkazildi. Spektral natijalar polimerlar orasidagi vodorod bog‘lanishlari va boshqa o‘zaro ta‘sirlarni aniqlashga imkon berdi. PEI qo‘shilishi PET matritsasidagi funksional guruhlarining vibratsion xususiyatlarini o‘zgartirib, ba‘zi cho‘qqilarni siljitdi va ularning intensivligini pasaytirdi. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, IQ spektroskopiya PET/PEI aralashmalaridagi tarkibiy va kimyoviy o‘zgarishlarni baholash uchun samarali usul bo‘lib, aralashmalarining tarkibiy uyg‘unligini va fazaviy holatini aniqlashga yordam beradi.

Kalit so‘zlar: Polieferimid, polietilenterefalat, polimer aralashmalar, IQ spektroskopiya, funksional guruhlar.

Kirish. PEI va PET sanoatda keng qo‘llaniladigan muhim muhandislik polimerlari bo‘lib, ularning o‘ziga xos issiqlik va mexanik xususiyatlari mavjud. PEI amorf termoplastik bo‘lib, yuqori shisha o‘tish harorati ($T_g \approx 215^\circ\text{C}$) va yaxshi mexanik mustahkamlikka ega. Biroq, amorf polimer sifatida u kristallanmaydi va shu sababli kimyoviy chidamlilik jihatidan cheklovlariga ega. Shuningdek, PEI yuqori ishlov berish haroratini (380°C) talab qiladi, bu esa qayta ishlash jarayonini qiyinlashtiradi. PET esa yarim kristallik termoplastik bo‘lib, $T_g \approx 78^\circ\text{C}$ va erish harorati $T_m \approx 255^\circ\text{C}$. PET yuqori kimyoviy chidamlilik va yaxshi mexanik xususiyatlarga ega, lekin uning metallizatsiyalanish qobiliyati past. PET va PEI aralashmalari fazaviy o‘tishlarning o‘zgarishi natijasida haroratga chidamliligini oshirish va qayta ishlashni optimallashtirish uchun ishlatiladi. Ushbu ikki polimerni aralashtirish ilmiy izlanishlarda katta qiziqish uyg‘otgan, chunki PET ning kristallik tuzilishi PEI ning yuqori issiqlik barqarorligi bilan uyg‘unlashib, ularning qo‘llanish sohasini kengaytirish imkonini beradi.

PET/PEI aralashmalarining moslashuvchanligi va kristallanish jarayoni ko‘plab ilmiy ishlar asosida o‘rganilgan. Chen va boshqa ko‘pchilik muallik tomonidan o‘tkazilgan dastlabki tadqiqotlarda PET va PEI aralashmalari butun tarkibiy diapazonda eritma holatida o‘zaro mos kelishi aniqlangan. Eritmada tayyorlangan aralashmalarining moslashuvchanligi ishlatilgan erituvchiga bog‘liq bo‘lib, dioxloroksis kislota fenol/tetraxloroetan eritmasiga nisbatan yaxshiroq segmentar aralashish hosil qilishi kuzatilgan.

Eritmada tayyorlangan aralashmalarni eritib qotirish usuli orqali yuqori haroratda ishlov berilganda, ularning moslashuvchanligi yanada oshgan va bitta shisha o'tish harorati (T_g) qayd etilgan. Biroq, PEI miqdori 40% dan ortganda PET ning kristallanishi pasayishi kuzatilgan. Shuningdek, PET ning ko'p cho'qqili erish endotermik xususiyati PEI mavjudligi sababli susaygan [1-12]. Chen va Hsiao tomonidan olib borilgan keyingi tadqiqotlarda PET/PEI aralashmalarida kristallanish va suyuq-suyuq fazaviy ajralish jarayonlari bir vaqtda sodir bo'lishi aniqlangan. Kichik burchakli rentgen sochilishi usuli yordamida PET ning kristallik va amorf qatlamlaridan iborat lamellar strukturalar hamda ularni o'rab turgan PEI boy faza hosil bo'lishi kuzatilgan. PEI miqdori oshgan sari amorf qatlamlar kengayishi va bu struktura aralashmaning mexanik va issiqlik xususiyatlariga sezilarli ta'sir qilishi aniqlangan [13].

Mutlu va boshqalar tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda PET/PEI aralashmalarining mexano-optik xatti-harakatlari real vaqt rejimida o'rganilgan. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, PEI qo'shilishi PET ning kristallanish tendensiyasini pasaytiradi va shisha o'tish haroratini oshiradi. PEI konsentratsiyasi ortgan sari PET/PEI aralashmalarining stress-optik koeffitsienti ortib boradi, bu esa ularning deformatsiya sharoitlarida optik xususiyatlarini sezilarli darajada o'zgartiradi. Shuningdek, PEI ning mavjudligi mexanik barqarorlikni oshiradi va amorf holatdan kristallik holatga o'tish jarayonini sezilarli darajada o'zgartiradi.

Umuman olganda, ushbu ilmiy tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, PET/PEI aralashmalarining fazaviy xususiyatlarini murakkab jarayonlar natijasida shakllanadi. Bu jarayonlar kristallanish, fazaviy ajralish hamda segmentar aralashish hodisalari bilan chambarchas bog'liq bo'lib, ularning o'zaro ta'siri polimer aralashmasining yakuniy tarkibi va tuzilish xususiyatlarini belgilaydi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, PEI polimerining PET matritsasiga qo'shilishi uning fizik va kimyoviy xususiyatlariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Xususan, PEI konsentratsiyasining oshishi PET ning issiqlik barqarorligini sezilarli darajada yaxshilaydi, bu esa uni yuqori haroratga chidamliroq materialga aylantiradi. Biroq, PET ning kristallanish qobiliyati PEI mavjudligida sezilarli darajada cheklanadi, chunki PEI segmentlari kristall o'sish jarayoniga ta'sir qiladi va tartiblangan kristall fazaning shakllanishiga to'sqinlik qiladi. Shu sababli, PET ning kristall tuzilishi PEI mavjudligida sezilarli darajada o'zgaradi, natijada materialning morfologiyasi hamda fizikaviy-mexanik xususiyatlari o'zgaradi. Ushbu tadqiqotning natijalari PET va PEI aralashmalarining sanoat amaliyotlarida qo'llanilishi, yuqori haroratga chidamli, mexanik jihatdan mustahkam va barqaror polimer kompozitsiyalarini yaratish istiqbollari haqida muhim ma'lumotlarni taqdim etadi [14-15].

PEI/PET polimer aralashmalarining sintez qilinishi, fizik-kimyoviy xossalari va strukturaviy o'ziga xosliklarini o'rganishga bog'ishlangan ilmiy maqolalar chuqur tahlil qilindi. Olingan natijalarga ko'ra, ushbu polimer tizimlarining infratovush (IQ) spektroskopiyasi asosida tadqiq etilishi yetarlicha o'rganilmaganligi aniqlandi. Ma'lumki, IQ spektroskopiya usuli polimerlarning funksional guruhlarini aniqlash, ularning makromolekulyar tuzilishdagi o'zgarishlarini baholash va aralashma komponentlari o'rtasidagi o'zaro ta'sir mexanizmlarini o'rganishda muhim ahamiyat kasb etadi. Shu sababli, ushbu tadqiqot doirasida PEI, PET va ularning teng nisbatdagi aralashmasini IQ spektroskopiya usuli orqali chuqur tahlil qilish rejalashtirildi. Polimer materiallarining IQ spektroskopik tahlili ularning kimyoviy tuzilishini, bog'lanish tabiatini va polimer zanjirlari orasidagi ichki o'zaro ta'sirlarni aniqlashga imkon beradi. PEI va PET polimerlari o'ziga xos kimyoviy tarkibga ega bo'lib, ularning aralashmasi turli xil fizik-kimyoviy va mexanik xossalarga ega yangi materiallar yaratish imkonini beradi. Ilmiy adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, mazkur polimer tizimlarining IQ spektroskopik tadqiqotlari yetarli darajada rivojlanmagan bo'lib, ayniqsa, PEI va PET aralashmalarining spektral xususiyatlari va molekulyar o'zaro ta'sir mexanizmlari haqida to'liq tasavvur mavjud emas.

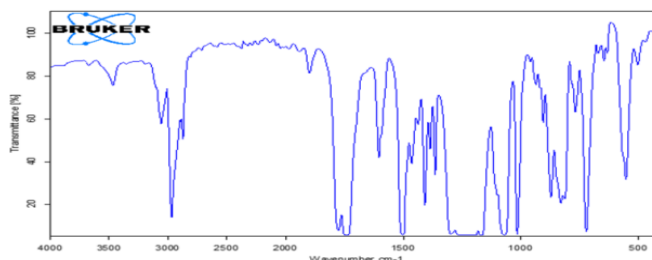
Tadqiqot metodologiyasi. Polimer aralashmani tayyorlash. Ushbu tadqiqot ishida Xitoyning ZOGOV kompaniyasida ishlab chiqarilgan PEI (Ultem 1000) polieferimid hamda pepsi brendidagi plastik idish ikkilamchi polietilenteriflatat polimerlaridan foydalanilgan

Polimer aralashmalar turli nisbatlarda laboratoriya ikki shnekli ekstruderida suyuqlanma holatda 235, 240, 240, 240, 240, 245 \pm 5 $^{\circ}$ C harorat zonalarida olindi.

IQ-spektroskopiya. Tadqiqot ishida PEI/PET polimer aralashmalarini IQ spektroskopiyasi polimer molekularining kimyoviy tuzilishi, fazaviy tarkibi, reaksiya jarayonlari va materiallar xususiyatlarini baholash maqsadida o'tkazildi.

PEI/PET polimer aralashmalari namunalar *Inventio-S IR Fourier* (Bruker, Germany) qurilmasida tekshirildi. PEI/PET plyonka namunalar 40-50 mkm qalinlikka ega bo'lib maxsus savutish tizimiga ega (500 $^{\circ}$ C Manual Hot Press) issiqlik pressida alyumin folga qog'oziga (10 \times 10sm) 2-3 gr atrofida namuna granulatsiya olinib 280-240 $^{\circ}$ C haroratda, dastlab 2-3 min vaqt davomida qizib turgan plitalarda bosimsiz namuna erishi kutildi so'ngra 7-8 tonna (700-800 MPa) yuk bosimida 3-4 min vaqt davomida ushlab turildi, plyonka hosil qilgan namunalar shu bosimda 100-120 $^{\circ}$ C haroratgacha sovitildi. Plyonkalar qalinligi 60-80 mkm, o'lchamlari 2 sm \times 4sm qilib to'g'ri to'rt burchak shaklida qirqib olindi. Olingan natijalar IQ-spektrlarning kenglik sohasi 400 sm $^{-1}$ dan 4000 sm $^{-1}$ gacha bo'lib har bir nuqta oraliqlari uchun talab 2 sm $^{-1}$ dan iborat bo'lgan.

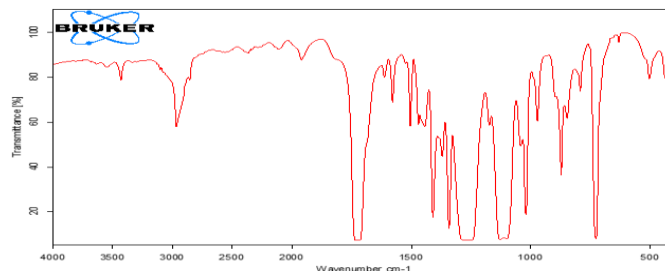
Tahlil va natijalar. PEI, PET va ularning aralashmalari IQ-spektroskopiyasi. Infraqizil spektroskopiya (FTIR) usuli yordamida toza PEI va ikkilamchi PET polimerlarining funksional guruhlarini tahlil qilindi. Toza PEI spektrida imid, efir, aromatik amin va karbonil guruhlariga xos tebranish cho'qqilari aniq kuzatildi.



Rasm.1. Toza PEI ning IQ spektri.

Imid guruhining C=O valent tebranishlari \sim 1775 cm $^{-1}$ va \sim 1720 cm $^{-1}$ da joylashgan bo'lib, bu PEI ning yuqori haroratga chidamliligini tasdiqlaydi. Shuningdek, C-N bog'lari (\sim 1350 cm $^{-1}$), C-O-C (efir bog'i) (\sim 1230 cm $^{-1}$), va aromatik C=C (\sim 1500–

1600 cm^{-1}) valent tebranishlari mavjudligi qayd etildi. 2850–2950 cm^{-1} diapazonda CH alifatik bog'lari va 3400 cm^{-1} atrofida NH

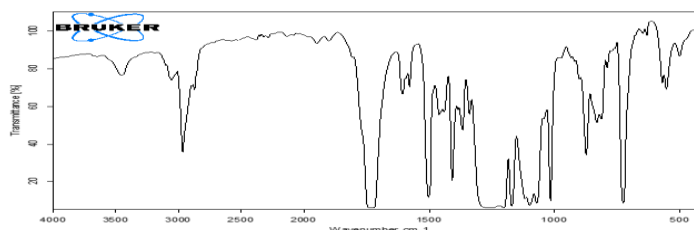


deformatsion tebranishlari kuzatildi, bu PEI tarkibida amin guruhlarining borligini ko'rsatadi (1-rasm).

Rasm.2. Ikkilamchi PET ning IQ spektri.

Ikkilamchi PET spektrida efir, aromatik halqa va karbonil guruhlariga xos infraqizil yutilish cho'qqilari aniqlandi. C=O valent tebranishi $\sim 1715 \text{ cm}^{-1}$ da joylashib, PET polimerining asosiy tarkibiy qismini tasdiqlaydi. Aromatik C=C bog'lari ($\sim 1500\text{--}1600 \text{ cm}^{-1}$) PET ning benzol halqasiga mos keladi, C-O-C efir guruhining valent tebranishlari esa $\sim 1240 \text{ cm}^{-1}$ va $\sim 1090 \text{ cm}^{-1}$ oralig'ida joylashgan. 2850–2950 cm^{-1} diapazonda CH alifatik valent tebranishlari qayd etildi. 3200–3500 cm^{-1} atrofida namoyon bo'lgan keng cho'qqilar esa PET ning gidrolitik degradatsiyasi yoki namlik bilan bog'liqligini ko'rsatadi (2-rasm).

PEI 50% –PET 50% aralashmasining IQ spektri tahliliga ko'ra. Olingan spektr asosida har ikkala komponentga xos funksional guruhlarining mavjudligi tasdiqlandi va ularning intensivliklari baholandi.



Rasm.3. PEI/PET 50/50 polimer aralashmaning IQ spektri.

IQ spektrda karbonil (C=O) guruhining valent tebranishi 1715–1770 cm^{-1} (PEI) va 1715–1740 cm^{-1} (PET) oralig'ida aniqlanadi. Bu ikki komponentning bir-biri bilan aralashganligini va ularning o'zaro ta'sirini ko'rsatadi. Aromatik halqadagi C=C valent tebranishlari 1500–1615 cm^{-1} diapazonda kuzatiladi, bu esa PEI va PET molekularining qo'shbog' tuzilmalarga egaligini tasdiqlaydi.

Imid halqasidagi C-N valent tebranishlari 1180–1360 cm^{-1} oralig'ida kuzatiladi, bu PEI ning mavjudligini tasdiqlovchi asosiy tasmlar hisoblanadi. Shu bilan birga, ester guruhidagi C-O valent tebranishlari 1240–1300 cm^{-1} oralig'ida aniqlanib, PET polimerining tarkibiy tuzilishini aks ettiradi. Aromatik C-H valent tebranishlari 3000–3100 cm^{-1} , alifatik C-H valent tebranishlari esa 2800–3000 cm^{-1} oralig'ida kuzatiladi.

Spektral tahlil shuni ko'rsatadiki, PET va PEI o'zaro bog'langan holda mavjud bo'lib, har ikkala polimeriga xos tasmlar bir-biriga ta'sir etgan holda qayd etilgan. Shu bilan birga, ayrim tasmlarning yengil siljishi va intensivlik o'zgarishlari aralashmaning molekulyar darajadagi o'zaro ta'sirlarini tasdiqlaydi (3-rasm).

Xulosa va takliflar. IQ spektral tahlili natijalari toza PEI, ikkilamchi PET va PEI50 PET50 aralashmasi tarkibidagi funksional guruhlarini aniqlash imkonini berdi. Har bir polimerning o'ziga xos kimyoviy tuzilishi spektrda aniq aks etgan bo'lib, aralashma namunasi har ikkala polimerning xususiyatlarini mujassam etgan.

Toza PEI spektrida imid, karbonil, efir va aromatik amin guruhlarini intensiv yutilish cho'qqilari bilan namoyon bo'ldi. Ayniqsa, C=O (1775 va 1720 cm^{-1}) va C-N (1350 cm^{-1}) tebranishlari PEI ning yuqori termal va mexanik barqarorligini tasdiqlaydi.

Ikkilamchi PET spektrida ester, karbonil va aromatik halqa guruhlarini o'ziga xos cho'qqilarni hosil qildi. C=O (1715 cm^{-1}) valent tebranishi polyester tuzilishini tasdiqlaydi. 3200–3500 cm^{-1} oralig'ida namoyon bo'lgan keng yutilish cho'qqisi PET ning gidrolitik degradatsiyasi yoki namlik ta'sirini ko'rsatishi mumkin.

PEI 50 PET 50 aralashma spektri esa har ikkala polimeriga xos funksional guruhlarini aks ettirdi. Karbonil guruhining valent tebranishlari (~ 1775 va 1715 cm^{-1}) ham PEI, ham PET tarkibida mavjudligini tasdiqlaydi. Shuningdek, 3400 cm^{-1} atrofida keng yutilish cho'qqisi vodorod bog'lari hosil bo'lishi mumkinligini ko'rsatdi. Umuman olganda, spektral natijalar PEI va PET aralashmasida polimerlar o'rtasida muayyan o'zaro ta'sir mavjudligini ko'rsatadi. Bu materiallarning issiqlikka chidamliligi va mexanik xususiyatlarini yaxshilash imkoniyatini bildiradi.

ADABIYOTLAR

- Chen, H.-L. Miscibility and Crystallization Behavior of Poly(ethylene terephthalate)/Poly(ether imide) Blends. *Macromolecules*. - 1995. - T. 28 - №.8. - C. 2845–2851.
- Jo W. H. et al. Miscibility of poly (ether imide)/poly (ethylene terephthalate) blends // *Polymer Bulletin*. - 1994. - T. 33. - C. 113-118.
- Chen H. L., Hwang J. C., Chen C. C. Multiple melting and crystal annealing of poly (ethylene terephthalate) in its blends with poly (ether imide) // *Polymer*. - 1996. - T. 37. - №. 24. - C. 5461-5467.
- Huang J. M., Chang F. C. Miscibility, melting, and crystallization of poly (trimethylene terephthalate)/poly (ether imide) blends // *Journal of applied polymer science*. - 2002. - T. 84. - №. 4. - C. 850-856.
- Kint D. P. R. et al. Microstructure and crystallization of melt-mixed poly (ethylene terephthalate)/poly (ethylene isophthalate) blends // *Journal of applied polymer science*. - 2003. - T. 90. - №. 11. - C. 3076-3086.

6. Martinez J. M., Eguiazabal J. I., Nazabal J. Miscibility of poly (ether imide) and poly (ethylene terephthalate) //Journal of applied polymer science. – 1993. – T. 48. – №. 5. – C. 935-937.
7. Jang J., Sim K. Spectroscopic studies of the crystallization behaviour in poly (ether imide)/poly (ethylene terephthalate) blends //Polymer. – 1997. – T. 38. – №. 16. – C. 4043-4048.
8. Ruvolo-Filho A., de Fátima Barros A. Correlation between thermal properties and conformational changes in poly (ethylene terephthalate)/poly (ether imide) blends //Polymer degradation and stability. – 2001. – T. 73. – №. 3. – C. 467-470.
9. Chen H. L. et al. Simultaneous liquid–liquid demixing and crystallization and its effect on the spherulite growth in poly (ethylene terephthalate)/poly (ether imide) blends //Polymer. – 1998. – T. 39. – №. 26. – C. 6983-6989.
10. Choi J., Cakmak M. Morphological evolution during thermal and strain induced crystallization in poly (ethylene terephthalate)/poly (ether imide) blend films //Polymer. – 2016. – T. 84. – C. 10-20.
11. Hwang J. C. et al. Analysis of two-stage crystallization kinetics for poly (ethylene terephthalate)/poly (ether imide) blends //Polymer. – 1997. – T. 38. – №. 16. – C. 4097-4101.
12. Alobaidi Q. M. Study of polyetherimide (PEI)-polyethylene terephthalate blends (PET). 02 DAYS //Proceedings of the 5th International Conference on Recent Trends in Engineering, Science & Management, Pune, India. – 2016. – C. 9-10.
13. Chen, H.-L., & Hsiao, M.-S. Morphological Structure Induced by Combined Crystallization and Liquid–Liquid Demixing in Poly(ethylene terephthalate)/Poly(ether imide) Blends. *Macromolecules*. - 1998. – T. 31. – №. 19. – C. 6579–6584.
14. Mutlu Z. et al. Mechano-optical behavior in poly (ethylene terephthalate)/poly (ether imide) blends //Journal of Polymer Science. – 2021. – T. 59. – №. 18. – C. 2045-2056.
15. Choi, J., Serhatkulu, T., & Cakmak, M. Temporal evolution of structure in uniaxially stretched PET/PEI blends during constrained annealing: A real time birefringence study. *Polymer*. – 2016. – T. 97. – C. 569–579.